

Strohballenbau im Vergleich zum konventionellen Bau

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades einer
Diplom-Ingenieurin

Studienrichtung: Architektur
Alja Petric

Technische Universität Graz
Erzherzog-Johann-Universität
Fakultät für Architektur

Betreuer: Prof. Brian Cody
Institut: Institut für Gebäude und Energie

Oktober/2012

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst,
andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen
wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

(Unterschrift)

Englische Fassung:

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other
than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material
which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....

date (signature)



Ich bedanke mich bei allen, die mir ermöglichen zu wachsen.

1	Einleitung.....	2	5.3.3.1 Wärmedämmverhalten.....	29
2	Der Bau Heute	4	5.3.3.2 Brandverhalten.....	30
2.1	Bauen in Slowenien	6	5.3.3.3 Schallschutz	32
3	LCA (Life Cycle Assesment) Methode.....	7	5.3.3.4 Erdbebenetest.....	32
3.1	IBO Referenzdatenbank	8	5.3.3.5 Europäisch-Technische-Zulassung ETZ.....	32
3.2	Wirkungsindikatoren (LCIA)	8	5.3.3.6 Temperaturdifferenz und zeitlicher Schwankungsverlauf	33
4	Energieeffizienz	10	5.3.3.7 Luftdichtheit.....	34
4.1	Energieeffizienz bei der Gebäudeplanung	10	5.3.4 Das Unternehmen Naravna Gradnja.....	35
4.2	Ökologie <-> Ökonomie <-> Energieeffizienz	11	6 Beschreibung des Forschungsvorhabens	39
4.2.1	Ökonomie <-> Energieeffizienz	11	6.1 Gebäudeform und die Auswirkungen	40
4.2.2	Ökologie <-> Ökonomie.....	11	6.2. Darstellung der Konstruktion	41
4.2.3	Ökologie <-> Energieeffizienz.....	13	6.3. Berechnungen	46
4.3	Vorfertigungsprozesse und der Energieverbrauch	14	6.3.1 Volumenermittlung.....	46
5	Strohbau als Alternative zum konventionellen Bau.....	16	6.3.2 Vergleich der ökologischen Parameter	47
5.1	Nachwachsende Roh- und Baustoffe	17	6.3.3 Ergebnisse	47
5.2	Verwendung der regionalen Rohstoffe	17	7 Zusammenfassung	53
5.2.1	Holz.....	20	Literaturverzeichnis.....	54
5.2.2	Stroh	21	Bildverzeichnis.....	56
5.2.3	Lehm.....	25	Anhang 1	57
5.3	Einleitung in den Strohballenbau	26	Anhang 2	61
5.3.1	Geschichte	26	Anhang 3	66
5.3.2	Strohballenbau Heute	27		
5.3.3	Bauordnungen und Zulassungen.....	29		

1 Einleitung

Wir bauen uns Häuser für die Zukunft, doch sind sie wirklich „Häuser der Zukunft“?

Die Problematik der Umweltverschmutzung ist ein immer lauterer Thema. Mehr und mehr Aufmerksamkeit wird dem weltweiten Verbrauch von Energie und Strategien zur Verkleinerung der globalen Verschmutzung gewidmet. Das Baufach zählt unter die größten Verbraucher der weltweiten Energie. Um die nachhaltige Entwicklung im Baufach zu fördern, muss mehr Aufmerksamkeit dem Energieverbrauch im gesamten Lebenszyklus der Baustoffe, von der Herstellungsphase bis hin zu ihrem Abbau, gewidmet werden.

Die Tendenz zur Verbesserung der energetischen Effizienz der Gebäude führte zur Entwicklung verschiedener energetisch sparsamer Wohnmodelle die in den letzten Jahren die Richtlinien in dem emissionsarmen Bau vorgeben. Allerdings ist bei solchen Modellen gewöhnlich nur die Angabe über die verbrauchte Energie in der Nutzphase des Objektes maßgebend, die jedoch wenn wir den gesamten Lebenszyklus des Objektes behandeln, nur eine imaginäre Energiesparsamkeit vorstellt.

Fragen wir uns jemals wie viel Energie für den Ausbau eines Objektes notwendig ist? Und wie viel noch für den Abbau?

Die Gebäudeplanung muss ganzheitlich betrachtet und der Umwelteinfluss eines Gebäudes in allen seinen Lebensphasen analysiert werden. Wir bauen Häuser für unsere Zukunft und für die Zukunft unserer Kinder. *Was wenn wir uns dies aus der Sicht der nachhaltigen Entwicklung anschauen? Welche Bauweise sollen wir wählen, um einen kleinstmöglichen Abdruck auf unserem Planeten zu hinterlassen und somit die Zukunft unserer Kinder nicht einzugrenzen?*

Die Gebäude und Räume in denen wir einen Großteil unseres Lebens verbringen, beeinflussen unseres Wohlbefinden und unsere Entwicklung. Ein Gebäude kann diese verbessern oder verschlechtern. Wegen ihm können wir sogar erkranken.

Bietet uns das Leben im synthetischen und undurchlässigen Haus mit mechanisch gesteuerten Lüftungsanlagen genug Komfort um es Zuhause nennen zu können?

In meiner Arbeit habe ich den Energieverbrauch erforscht, der bei der Herstellung verschiedener Baustoffe entsteht und seine Umwelteinflüsse. Ich habe versucht den Strohballenbau, als Alternative zum konventionellen Bau vorzustellen. Mit seiner Hilfe können wir schon in der Ausbauphase des Objektes beträchtlich den Verbrauch von nichtregenerativer Energie und den Ablass gefährlicher Gase reduzieren. Zugleich ermöglicht uns der Strohballenbau den Ausbau eines vollkommen natürlichen Heimes, der nachdem wir nicht mehr in ihm leben, die eingebauten Baustoffe wieder in ihren natürlichen Zyklus zurück bringt und somit unseren Planeten weniger belastet.

Ziel der Arbeit

Das Hauptziel der Arbeit war, den Bau mit natürlichen und nicht vorgefertigten Stoffen zu erforschen und vorzustellen und am Beispiel den tatsächlichen Einfluss dreier verschiedener Bauweisen auf die Umwelt zu bewerten.

Gliederung

Die Diplomarbeit ist auf den theoretischen und praktischen Teil aufgeteilt. Im ersten Teil stelle ich die Richtlinien des heutigen Baues vor, die Methode zur Bewertung der Umwelteinflüsse, die bei der Herstellung von Baustoffen entstehen, Eigenschaften der energetisch effektiven Bauplanung, die Bedeutung des Gebrauchs von nachwachsenden Baustoffen und allgemeine Eigenschaften des Strohballenbaus.

Im zweiten Teil meiner Arbeit stelle ich auf einem Beispiel die Analyse dreier verschiedener Bauweisen vor, ihre Umwelteinflüsse und ihre positiven und negativen Eigenschaften. Verglichen werden die konventionelle massive Bauweise, leichte Holzbauweise und das Bauen mit Strohballen.

Der Weg den ich gehe sagt mir an, dass man sich zurück zu der Natur wenden muss. Schließlich beginnt und endet alles in der Natur.

2 Der Bau Heute

- "45% des globalen Energieverbrauchs sind der Herstellung und dem Transport von Baustoffen zuzuschreiben."¹

- "Wenn man den Energieverbrauch eines Hauses betrachtet, entfallen ca. 80% für die Beheizung, ca. 10% für die Nutzung und das Warmwasser und ca. 10% für reine Stromnutzungen."²

- "(...) 70% der Industrie- und Siedlungsabfälle fallen am Bau an."³

Den Energieverbrauch eines Gebäudes können wir aus verschiedenen Sichtweisen betrachten. Meistens bezieht sich der Begriff auf die Nutzphase eines Gebäudes und definiert den Betriebsenergieverbrauch des Haushaltes. Neben dem Energieverbrauch in der Nutzphase, fällt in Verbindung mit dem Gebäudeausbau noch die Herstellungenergie und die Energie, die bei dem Abbau vorkommt an. Die Betriebsenergie, deren Großteil die Heizung abverlangt (77%)⁴, ist mit den finanziellen Ausgaben des Haushaltes verbunden. Diese Betriebsenergie kann heute durch Verwendung der im Handel erhältlichen hochqualitativen Bau- und Dämmstoffe stark herabgesetzt werden. Wenn sich die Kosten, die für die Beheizung eines Gebäudes benötigt werden, durch Sanierungsmaßnahmen oder einen Umzug in einen Neubau um 50% verringern, ist der Benutzer mehr als zufrieden. Ihn interessiert nicht der Energieeinsatz, der für die Herstellung der eingebauten Wärmedämmung benötigt wird, oder was nach dem Abbau seines Hauses bzw. der eingebauten Baustoffe passieren wird. Das wichtigste ist, dass die Baustoffe im Handel finanziell erschwinglich sind, gute Dämmeigenschaften und einen längere Lebensdauer haben, damit der Kostenaufwand so klein wie möglich ausfällt. Somit ist der heutige Haushaltbenutzer öfters das schwache Glied der kapitalorientierten Marktmanipulation. Forschungen in Österreich und Schweiz zeigten, dass der Anteil der grauen Energie, benötigt für die Produktion der Baumaterialien und Einrichtungsgegenstände, so groß ist, wie

die Energie, die in einem Zeitraum von 40 Jahren für die Beheizung eines gut wärmegeprägten Gebäudes benötigt wird.

Wir können dabei auch über den Zeitraum der Rückzahlung, der für den Ausbau oder die Sanierung der gebrauchten grauen Energie durch Betriebsenergieeinsparung eines Objektes, reden.

Derzeit eingesetzte Bau- und Dämmstoffe werden zum Großteil aus fossilen Rohstoffen gewonnen und sind meistens überregional verfügbar, bzw. importiert. Zusätzlich erfordern diese Baustoffe für den Einsatz in dem Gebäude verschiedene künstliche Zusatzstoffe wie Klebmittel, Schädlingsbekämpfungsmittel usw.⁵ Hier verstecken sich auch die größten Ursachen der Umweltverschmutzung durch die Bauindustrie, aber auch die breiten Möglichkeiten, wie man auf die Ursachen einwirken kann. Schon die Materialauswahl für die Konstruktion eines Objektes bestimmt wesentlich die Höhe des Umwelteinflusses, verursacht durch den Gebäudeausbau. Dieser kann mit einer gut durchgedachten Auswahl des Baustoffes die Umwelteinflüsse erheblich verringern oder erhöhen.

In der folgenden Tabelle habe ich die wesentlichen Konstruktionsbaustoffe vorgestellt, die für Herstellung von 1m³ Material benötigte graue Energie und den Anteil des freigelassenen CO₂, angegeben. Durch diesen Vergleich sind die Unterschiede, die durch die Auswahl des Baustoffes, benötigt für die Konstruktion des Objektes, entstehen, deutlich sichtbar. Holz z.B., das nach internationalen Richtlinien ein bedeutender Ausgangspunkt ist, um einen passiven Bau oder einen mit niedriger Emissionsbelastung zu gestalten, verschmutzt unseren Planeten 2-mal weniger als Hochlochziegel. Zugleich bindet Holz in seiner Wachstumsphase CO₂ aus der Atmosphäre und verhilft zur Senkung der Treibhausgase. Holz ist beim richtigen Einbau ein unentbehrliches Konstruktionsmaterial. Durch seine häufigere Verwendung in der Gebäudekonstruktion, könnten wir den Energieverbrauch und somit auch die Umweltverschmutzung, erheblich verringern.

Material	Dichte kg/m ³	Graue Energie MJ	CO ₂ kg
Stahl	7800	136500	9282
Stahlbeton	2400	2309,67	334,34
Hochlochziegel	1200	2760	2184
Nadelholz	500	1385	-825

Tabelle 1: Ökologische Parameter von 1m³ eingebauten Materials⁶

1-3 Vgl. Gruber/Santler 2008, 7

4 Vgl. <http://www.energiwelt.net/faktor-energie.html>

5 Vgl. H. Adensam u.a. 2005, 15

6 Vgl. www.baubook.at

2.1 Bauen in Slowenien

Wie wird in Slowenien gewohnt? Wie wollten die Menschen früher bauen und was bevorzugen sie heute? Ich habe versucht, den Stand des slowenischen Wohnbaus, bezüglich der Entscheidungen über die Art der Konstruktionswahl in der Gebäudeplanung des Privatsektors, zu analysieren. Nach unzähligen Gesprächen mit den Architekten kann ich bestätigen, dass der durchschnittliche Slowene noch immer den Massivbau bevorzugt. Die Architekten behaupten, dass der wesentliche Grund für diese Entscheidung in den finanziellen Möglichkeiten liegt, aber auch in der Unkenntnis der Holzbauweise und daraus folgend im Misstrauen des Auftraggebers liegt. Obwohl z.B. in der Region Prekmurje (Nord-Osten) vor 100 Jahren nur mit Lehm und Holz gebaut wurde und viele Gebäude noch heute bewohnt werden, haben viele Älteren das vergessen. Nach massenhafter Propaganda und Verwendung von Ziegel und Beton in der Bauwirtschaft in den letzten 50 Jahren, steht das "Muster" des Ziegelhauses als ein "sicheres Haus", heute fest in den Köpfen der Bevölkerung.

In Slowenien werden rund um die Uhr Gebäude aus Ziegeln gebaut (56%), 16% sind aus Beton und gemischten Strukturen, andere Materialien werden in geringerem Maße benutzt. Holzbau präsentiert in Slowenien im Bereich des Wohnbaus nur einen kleinen Anteil des gesamten Baus. Um 2007 lag der Anteil der mit Holz konstruierten Ein- und Zweifamilienhäuser bei 10%. Obwohl der Anteil des Holzbaus in Slowenien in den letzten Jahren steigt, ist er im Vergleich zu Österreich, wo in 2007, 35,7% Ein- und Zweifamilienhäuser mit Holzbau fertiggebaut worden, immer noch sehr gering. Die Ergebnisse der Meinungsumfrage Slovensko javno mnenje o leseni gradnji (öffentliche Meinung über Holzbau) zeigten, dass die wichtigsten Faktoren für das Vorherrschen der sogenannten "traditionellen Ziegelbauweise" die Gewohnheit und Tradition, die Unkenntnis der Holzbauweise, und ökologische Unbewusstheit sind. Die Folge der Unwissenheit sind Bedenken und das

Misstrauen hinsichtlich der Nachhaltigkeit, Sicherheit, und Qualität eines solchen Baus.⁷

⁷ Vgl. HUMAR, Miha / KRAIGHER, Hojka 2009, 135-141

3 LCA (Life Cycle Assessment) Methode

Life Cycle Assessment oder Ökobilanz ist eine Methode zur Bewertung der Umweltauswirkungen eines Produktes, hinsichtlich der Erfassung aller wesentlichen Rohstoff- und Energieverbräuche in dessen gesamten Lebenszyklus.⁸

In Europa gibt es verschiedene Systeme und Methoden zur Bewertung der Auswirkungen der Baustoffe auf die Umwelt. In Österreich und Deutschland werden die Immobilien durch ihren gesamten Lebenszyklus mit den Methoden DGNB und ÖGNI (englisch LCA und LEED) bewertet. Auch in Slowenien wird aufgrund ihrer Grenzlage die gleiche Methode benutzt.

- *DGNB Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*
- *ÖGNI Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilien*
- *LCA Life Cycle Assessment*
- *LEED Leadership in Environmental Design*

7

Um das Gebäude ökologisch zu optimieren, sollte der gesamte Energiebedarf herabgesetzt werden. Dies gilt für alle Lebensphasen – die Herstellung, die Nutzung sowie für den Rückbau, Verwertung und Entsorgung. Der Energieeinsatz in der Betriebsphase wurde durch hochqualitative Lösungen, die der Markt anbietet, schon stark minimiert, wobei sowohl die Herstellung als auch der Rückbau und die Entsorgung öfter unerwähnt oder unberücksichtigt bleiben. Deswegen widme ich in dieser Arbeit meine Aufmerksamkeit insbesondere der Herstellungsphase.

Nachdem die Ökobilanz grundsätzlich die Bewertung des gesamten Lebenszyklus eines Produktes umfasst, wird damit nur ein Teil der gesamten Ökobilanz vorgestellt. Die sogenannte »Werkbilanz« erfolgt über alle Prozesse, von der Gewinnung der Rohstoffe, bis zur Herstellung des vollendeten Produktes. Die Herstellungsphase ist ein wesentlicher Teil des Lebenszyklus

eines Gebäudes und wurde öfters unterschätzt. Sie betrifft den Energiebedarf aller eingebauten Bauprodukte und man sollte ihr bei der Gebäudeplanung mehr Aufmerksamkeit schenken. Somit wurden die Umwelteinwirkungen nicht erst in der Betriebsphase durch hochqualitative Dämmwirkungen bewertet und optimiert, sondern schon vorher - auf dem gesamten Weg des Stoffes, bis zu dem Ort seines Einbauens.

8 Vgl. BACON DRIVE 2006, 1

3.1 IBO Referenzdatenbank

Für die Bedürfnisse meiner Studie im Kapitel 6 habe ich Daten gesammelt, die das IBO (Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie, www.baubook.at, Stand Oktober 2012) vorbereitete und nach denen sie den Umwelteinfluss der Bauprodukte bewerteten. Die IBO-Referenzdatenbank ist eine breite Sammlung von Bauprodukten, bewertet im Hinblick auf deren Umweltauswirkungen. Sie wurde ursprünglich im Rahmen des Projektes „Ökologischer Bauteilkatalog“ [BTK 1999] hergestellt und ab 1994 kontinuierlich aktualisiert. Als Quelle wurden Herstellerangaben und Literaturdaten verwendet. Die zurzeit maßgebenden IBO-Referenzdaten von September 2007 wurden im Rahmen der Studie „Passivhaus-Bauteilkatalog“ erarbeitet [BTK 2007] und nach Perioden aktualisiert.

Die IBO-Referenzdatenbank enthält Indikatorwerte für alle wesentlichen, im Hochbau eingesetzten Baumaterialien. Die Indikatorwerte definieren:

- GWP - Beitrag zur Klimaveränderung (Treibhauspotential)
- AP - Beitrag zur Versäuerung (Versäuerungspotential)

- PEI - Verwendung nicht-erneuerbarer Primärenergie (Primärenergieinhalt)

Die Basisdaten umfassen die Energie- und Transportsysteme, Entsorgungsanlagen und Verpackungsmaterialien und auch auf diesen Ergebnissen aufgebaute Produktbilanzen bis zur Nutzungsphase eines Produktes.⁹

9 Vgl. IBO 2009, 4-7)

3.2 Wirkungsindikatoren (LCIA)

Für die Wirkungsabschätzung (LCIA) wird die Methode nach CML 2001 herangezogen. Die Häuser habe ich mit 3 Umweltkategorien bewertet, die von der IBO-Referenzdatenbank angeführt werden. Diese werden in der Tabelle pro kg des Bauproduktes angegeben.

8

Umweltkategorien	Indikator	Einheit
Beitrag zum Treibhauseffekt	Treibhauspotential	kg CO ₂ -Äquivalent
Beitrag zur Versäuerung	Versäuerungspotential	kg SO ₂ -Äquivalent
Bedarf an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen	Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar	MJ

Tabelle 2: Umweltkategorien und ihre Einheiten

Dieses Kapitel beende ich mit den Begriffsbestimmungen¹⁰ der Indikatoren. Der beschriebenen Methode widme ich mich genauer im Kapitel 6, wo ich unter anderem meine eigene Bewertung und eigenen Vergleich der Umweltauswirkungen von Baustoffen dreier Gebäude, ausgeführt in verschiedenen Bauweisen, beschreibe.

- Globale Erwärmung durch Treibhausgase (GWP)

Das Treibhauspotential GWP (Global Warming Potential) beschreibt den Beitrag eines Spurengases zur globalen Erwärmung relativ zu Kohlendioxid. Für jede treibhauswirksame Substanz wird eine Äquivalenzmenge Kohlendioxid in Kilogramm errechnet. Somit kann der direkte Einfluss auf den Klimawandel zu einer einzigen Wirkungskennzahl zusammengefasst werden, indem das Treibhauspotential der emittierten Substanz i (GWPI) mit der Masse der Substanz m_i in kg multipliziert wird:

$$\text{GWP} = \sum \text{GWPI} m_i$$

Das Treibhauspotential wird für den Zeithorizont von 100 Jahren bestimmt.

- Versäuerungspotential (AP)

Versäuerung wird hauptsächlich durch die Wechselwirkung von Stickoxid- (NO_x) und Schwefeldioxidgasen (SO₂) mit anderen Bestandteilen der Luft verursacht. Das Maß für die Tendenz einer Komponente, säurewirksam zu werden, ist das Versäuerungspotential AP (Acidification Potential).

Die Zusammenfassung in einer Wirkungskennzahl erfolgt analog zum Treibhauspotential: $\text{AP} = \sum \text{API} m_i$

- Primärenergieinhalt (PEI)

Als Primärenergieinhalt (abgekürzt PEI, auch Primärenergieverbrauch bzw. -bedarf) wird der zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung erforderliche Gesamtverbrauch an energetischen Ressourcen bezeichnet. Der Primärenergieinhalt beinhaltet also z.B. auch die Energieaufwendungen für die Rohstoffgewinnung oder Energieverluste durch Abwärme. Er wird aufgeschlüsselt aus nicht erneuerbaren Ressourcen (Erdöl, Erdgas, Braun- und Steinkohle, Atomkraft) und Energieträgern aus erneuerbaren Ressourcen (Biomasse, Wasserkraft, Sonnenenergie und Windenergie). In der IBO-Referenzdatenbank wird derzeit der Primärenergieinhalt aller nicht erneuerbaren Ressourcen angeführt. Er enthält sowohl die energetisch als auch die stofflich genutzten Ressourcen. Der Primärenergieinhalt wird aus dem oberen Heizwert aller eingesetzten energiehaltigen Ressourcen berechnet [Hischier et al. 2009].

¹⁰ Vgl. IBO 2009, 15-17)

4 Energieeffizienz

Die Effizienz beschreibt das Verhältnis zwischen den eingesetzten Mitteln und deren Wirkung, bzw. einen definierten Input und einer Output Größe. In der Wirtschaftslehre wurde das unter "ökonomischer Prinzip oder Minimalprinzip" zu Grunde gelegt. D.h. ein Vorgang ist effizient, wenn eine Dienstleistung mit minimalem Energieaufwand erfüllt wird.¹¹

¹¹ Vgl. Pehnt 2010, 2

4.1 Energieeffizienz bei der Gebäudeplanung

Das Gebäude muss verschiedene Funktionen erfüllen. Es muss den Bedürfnissen des Benutzers nachkommen, die Schutzfunktionen wie z.B. Witterung, Brand, Schall usw. erfüllen und sollte gleichzeitig auch ästhetisch aussehen. Ein energieeffizientes Gebäude muss all diese Funktionen bei minimiertem Einsatz von (fossilen) Energierohstoffen erfüllen.

10

Grundsätzlich kann der Begriff der gebäudebezogenen Energieeffizienz mit „Minimierung des Wärmebedarfs und dessen effiziente Deckung“ beschrieben werden.¹²

In den letzten Jahrzehnten wurden in Europa unterschiedliche Strategien zur Verringerung des Primärenergieverbrauchs erlassen, mit dem Ziel, die größten Faktoren der Umweltverschmutzung zu reduzieren.

Für die Produktion von 10 kWh Energie wird ca. 1 Liter Heizöl benötigt. Davon werden 2,6 kg CO₂ in die Erdatmosphäre freigesetzt und gespeichert. Hoher Verbrauch von Heizöl oder Gas, z.B. wegen einer schlechten Dämmung, stellt nicht nur eine finanzielle Belastung für den Benutzer dar, sondern trägt aufgrund des klimaschädlichen CO₂, der bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern losgelassen wird, auch zur Bildung des Treibhauseffekts und dem globalen Klimawandel bei.¹³

Nach dem Beschluss der Energieeinsparverordnung (EnEV) und Erstellung des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG), der die bautechnischen Standardanforderungen zum effizienten Betriebsenergieverbrauch des Gebäudes vorschreibt, stellt der Bedarf an der Heizung eines energieeffizienten Gebäudes nur noch ein Zehntel des Gebrauchs eines konventionellen Hauses dar. Somit wird die Betriebsenergie eines Gebäude reduziert, was folgend zur Minderung des Verbrauchs von nicht erneuerbaren Ressourcen führt.

In der folgenden Abbildung wird der Vergleich der Primärenergiekennwerte des Betriebsenergieverbrauchs der Gebäude dargestellt, ausgeführt in unterschiedlichen Energiestandards.

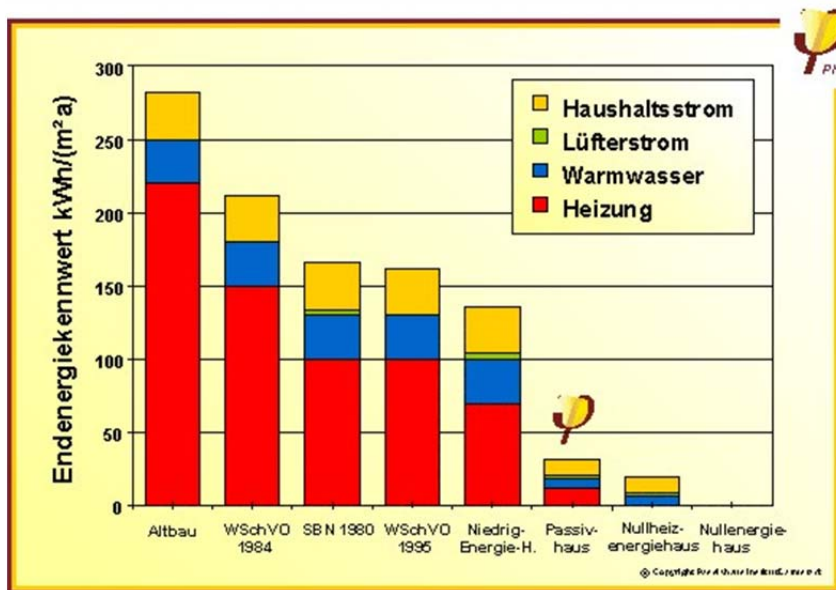


Abbildung 1

12 Vgl. Pehnt 2010, 197
13 Vgl. Sperzel 2004,9

4.2 Ökologie <-> Ökonomie <-> Energieeffizienz

In diesem Kapitel habe ich die Zusammenwirkung der Ökonomie, Ökologie und der Energieeffizienz beim Bau beobachtet. Meiner Meinung nach, sind bei der Planung eines effizienten Gebäudes alle drei bedeutend, wenn nicht sogar entscheidend. Sie beeinflussen die getroffenen Entscheidungen und sind stark miteinander verbunden.

4.2.1 Ökonomie <-> Energieeffizienz

Die Baumaterialien werden in der Industrie durch Innovationen konsequent optimiert. Somit sind die Bauzeiten immer kürzer, der Schall- und Brandschutz sowie wärmetechnische Eigenschaften werden von Jahr zu Jahr verbessert. Die erhöhten wärmetechnischen Eigenschaften tragen zu kleineren Heizkosten bei und steigern die Energieeffizienz des Gebäudes.

Die Tatsache, dass in dem Gebäude später kleinere Betriebskosten anfallen, löst höhere Investitionskosten aus. Somit ist die Investition in den Ausbau eines modernen Passivhauses höher als die in ein konventionelles Haus. Das Energierreferat in Frankfurt hat eine Studie über die Kosten von Standard- und Passivhäusern durchgeführt. Die Investitionskosten eines Passivhauses waren um ca. 7,3% höher von den Investitionskosten eines Standardhauses (Ausgeführt unter EnEV 2009), wobei aber die Modellrechnungen über die langfristigen Gesamtkosten weit unterhalb der Standardhauskosten lagen. Die Investitionskosten sollte man daher nicht nur wie eine abgeschlossene Zahl betrachten, sondern auch die langfristigen Vor- und Nachteile der ausgebauten Gebäude richtig abschätzen.

4.2.2 Ökologie <-> Ökonomie

Die Termini wie "Natur, Bio, Öko, Nachhaltig..." werden nicht exakt definiert und werden heute als Trendstrategien durch Marktmanipulation häufig ausgenutzt. Das führte so weit, dass sie in den letzten Jahren an Bedeutung

verloren haben. Was ökologisch ist, definiert heute jeder Architekt, Bauherr und Benutzer für sich selber, selbstverständlich wird aber der Begriff »Ökologisches Bauen« auch über die Baumärkte definiert und beeinflusst, da er eng mit den wirtschaftlichen Vorteilen zusammen hängt.

Der erste Schritt bei der ökologischen Gebäudeplanung ist eine gut durchdachte Planung und Positionierung des Baukörpers und zweitens, die Wahl der organischen Materialien für den Ausbau, die so wenig Ressourcen und Ausgaben in ihrem Lebenszyklus benötigen wie möglich (Herstellung, Nutzung, Entsorgung).

Bauen mit organischen Baustoffen kann mit dem erhöhten ökonomischen Einsatz verbunden werden. Die höheren Preislagen der organischen Baustoffe stehen oft in enger Verbindung mit neuen, unkonventionellen oder komplizierten Prozessschritten, dem kleineren Ertrag, aber auch da sie eine Neuheit auf dem Markt vorstellen.

Ich habe eine Studie über das aktuelle Angebot der Dämmungen gemacht und deren Preislagen verglichen. Die Preise habe ich dem Internet entnommen. In der folgenden Tabelle sind drei organische Fassadendämmstoffe und EPS gegenübergestellt. Die Wärmeleitfähigkeit der Dämmungen ist unterschiedlich, liegt jedoch nicht weit auseinander, damit der Vergleich nachvollziehbarer ist. Da die Strohballe der Firma Waldland gegenüber den anderen Materialien einen schlechteren Wärmeübergangswiderstand hat, habe ich ihre Dicke angepasst, um einen detaillierten Einblick zu ermöglichen. Das Produkt wird in dem von mir angegebenen Maß nicht angeboten und dient nur zu diesem Vergleich.

Material	Firma	Dicke	λ	€/m ²	R=D/λ
¹ GLASWOLLE	URSA	0.1	0.039	14,53	2,6
² ZELLULOSEFASER-DÄMMSTOFFE	HOLZFLEX®	0.1	0.039	13,86 ²	2,6
³ STROHBALLEN	WALDLAND	0.13	0.05	3,92 ³	2,6
⁴ EPS	TERMOORGANIKA	0.10	0,038	5,90 ¹	2,6
⁵ STEINWOLLE	ROCKWOLL	0.01	0,036	9,78 ¹	2,8

Tabelle 3: Kostenvergleich

(1,4,5 www.eu-baustoffhandel.de; 2 www.homatherm.com; 3 www.baubook.at)

Die Ergebnisse zeigen, dass die Glaswolle, Strohballe, und EPS bei ähnlicher Leistungsfähigkeit des Materials, auch ähnliche Preiswerte haben, wobei EPS eine synthetische, Glaswolle und Strohballe hingegen organische Dämmungen sind.

Es ist deutlich zu erkennen, dass beim Bau mit organischen Dämmungen die Investitionskosten vergleichbar zu synthetischen Baustoffen sein können (Vergleich EPS Termoorganika und Glaswolle URSA). Die Kosten für die Steinwolle der Firma Rockwool oder Zellulosefaserdämmstoffe von Holz Flex, die einen neuen Baustoff auf dem Baumarkt vorstellen, können jedoch erheblich höher ausfallen.

Bei dem Strohdämmstoff ist interessant, dass man diesen auch privat bei den Landwirten bestellen und kaufen kann, was oftmals den Produktpreis deutlich verkleinert. Der Preis für 1m³ zertifizierter Strohballe steht bei 55€ (Waldland¹⁴) was ca. 7€ pro Balle ausmacht. Bei den Landwirten variieren die Preise für unzertifizierte Strohballe zwischen 1,00-2,50€ pro Balle, was bei 1m³ ca. 7-17,5 € ausmacht. Wenn man also bestimmte Materialkenntnisse besitzt, kann man eine Strohballedämmung der gleichen Qualität, um einen viel günstigeren Preis erwerben.

Im Endbericht »Stroh-cert« wird eine Studie über die Preisentwicklung der konventionellen Dämmstoffe und Strohballen zwischen 1997–2008 dargelegt, wo noch etwa höhere Preise und Preisunterschiede dargestellt werden.

Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Preise der Dämmstoffe auf fossiler oder mineralischer Rohstoffbasis, trotz der hohen Nachfrage in den letzten Jahren ansteigen, da die notwendigen Rohstoffe, wie z.B. Erdöl, ununterbrochen teurer werden. Die Strohballen hingegen, bleiben der Statistik zu folge weiterhin auf einem niedrigen preislichen Niveau.¹⁵

14 Vgl. www.baubook.at, Waldland

15 Vgl. GrAT u.a. 2011, 45

4.2.3 Ökologie <-> Energieeffizienz

Aus der Sicht der Umweltschutzstrategien verschmutzen wir mit der Herstellung natürlicher Produkte unseren Planeten viel weniger als mit der Benutzung und Herstellung synthetischer Materiale. An diesem Punkt ist jedoch auszuklammern, dass alles was aus der Natur kommt auch nicht gleich 100% nachhaltig - energieeffektiv ist. Mit natürlichen Baustoffen können ebenso wie mit synthetischen Baustoffen, Gebäude ausgebaut werden, die in der Nutzphase sehr energieeffizient sind. Es gibt aber viele natürliche Baustoffe, die bei der Produktion aufgrund der langen Transportketten oder Vorfertigungsprozesse sehr viel graue Energie benötigen. Ein äußerst wichtiger Punkt ist auch, was nach der Nutzphase passiert. Ist das Material/Produkt wiederverwendbar, oder Bestandteil der Recyclingketten, oder kann es als ein Energieträger verwendet werden.

Je schneller ein Produkt nach der Nutzphase wieder Verwendbar wird, desto kleiner ist der Energieverbrauch. Öfters wird vernachlässigt, dass auch die Recyclingprozesse sehr viel Energieeinsatz benötigen.

In der folgenden Tabelle habe ich Dämmungen unter dem Einsatz der grauen Energie verglichen. Die angegebene Dicke der Strohballen wird im Handel nicht angeboten und wurde nur wegen der besseren Übersicht angegeben.

Material	Dicke	λ	$R = D/\lambda$	PEI MJ
EPS	0.1	0.04	2,50	148,35
Glaswolle	0.1	0.039	2,56	295,68
Zellulosefaser-Dämmstoffe	0.1	0.039	2,56	43,08
Strohballen	0.13	0.05	2,60	10,93

Tabelle 4: Vergleich der grauen Energie (www.baubook.at)

Um den gleichen Wärmedurchgangswiderstand des Dämmstoffes zu erreichen, benötigt die Strohballendämmung bei einer Dicke von 13cm, im Vergleich zu den anderen Materialien, eine größere Menge eingebauten Dämmstoffes. Der Verbrauch an grauer Energie, benötigt für die Herstellung, ist aber trotzdem kleiner, wie bei den anderen Dämmstoffen, die durch eine kleinere Wärmeleitfähigkeit nur 10cm Dicke verlangen.

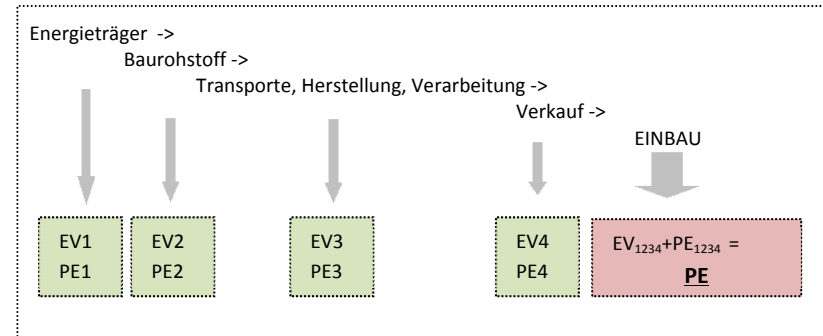
Die Studie beweist, dass wir zur Verkleinerung des ökologischen Abdruckes beim Bauen nicht nur an die Begriffe „Natürlich, Ökologisch, Organisch, usw...“ achten sollen, sondern sich komplexer mit ihnen auseinandersetzen müssen. Beim ökologischen Bauen sollte man die Baustoffe ganzheitlich beobachten und sowohl sich selbst, als auch die Experten über den Sinn der getroffenen Entscheidungen gründlich hinterfragen.

Nur somit kann man die Marktmanipulation umgehen, günstig und qualitativ Bauen und letztendlich einen kleineren Abdruck auf der Umwelt hinterlassen.

4.3 Vorfertigungsprozesse und der Energieverbrauch

- "Rund 10% des weltweiten Bruttosozialproduktes werden in die Errichtung, Erhaltung und Ausstattung von Gebäuden investiert"¹⁶
- „40% des gesamten eingeschlagenen Holzes, des Wassers und der mineralischen Stoffe werden zur Herstellung bzw. dem Transport von Baustoffen verwendet.“¹⁷
- „Der Anteil am weltweiten Energieverbrauch für Herstellung und Transport von Baustoffen (...) liegt bei 45% (World Watch Magazine, 1998).“¹⁸
- „Zur Herstellung von 1t Beton werden 6.000 Megajoule an Energie benötigt. Nur 115 MJ grauer Energie bedarf es hingegen zur Herstellung von 1t Stroh.“¹⁹
- "Bei der Betonproduktion entstehen zu dem 7% der menschengemachten CO₂-Emissionen, während Stroh CO₂ sogar reduziert (bindet).“²⁰
- 70% der Industrie- und Siedlungsabfälle fallen am Bau an.“²¹

Der Energieverbrauch für die Herstellung und Transportierung der Baustoffe hat einen sehr großen Einfluss auf die Umwelt. Die Primärenergie bei der Herstellung eines Baustoffes, stellt die Energiemenge vor, die für die Produktion eines Baustoffes notwendig ist. Darunter fallen alle Prozesse wie z.B. Herstellung, Transport, Lagerung und Verkauf die das Produkt bis zur Nutzphase durchläuft (z.B. Grube -> Lehm -> Ziegel). Von der Primärenergie ist bei jedem Energieträger ein gewisser Anteil erneuerbar (z.B. die Rohstoffe Holz, Sonne, Wind, etc.). Damit unterteilen wir die Primärenergie auf den nichterneuerbaren- und erneuerbaren Teil. Ökologisch relevant ist der nicht erneuerbare Teil der Primärenergie oder sogenannte Graue Energie.



Beispiel der Schritte, die die graue Energie eines bestimmten Produktes bestimmen

EV = Energieverluste PE = Produktionsenergie

Für jeden Schritt in der Produktionskette ist ein bestimmter Teil der Produktionsenergie notwendig (PE 1,2...). Jeder Schritt ist auch mit energetischen Verlusten (EV 1,2...) verbunden. Die Höhe der Summe aller Energieeinheiten ist im größeren Ausmaß abhängig von der Menge der Prozessschritte, aber auch von der Komplexität der gesamten Produktionskette. Somit brauchen die Materialien, die z.B. längere Transportwege benötigen, oder thermischen Verarbeitungsprozessen unterworfen werden, erheblich mehr Produktionsenergie wie die Baustoffe, die diese nicht benötigen.²²

Um die Herstellungenergie bei den Baustoffen zu verkleinern ist also wichtig, Baustoffe zu verwenden, die keine chemische oder thermische Verarbeitung benötigen, regional erreichbar sind und nachwachsen, damit deren Produktion so wenig nichterneuerbare Rohstoffe benötigt wie möglich.

Carol Atkinson stellt in ihrer Masterarbeit (AFES) eine Tafel²³ dar, die einen kurzen Überblick über den Einsatz der Grauen Energie, die für die Herstellung verschiedener Baustoffe benötigt wird, verschafft. Sie hat den Energieverbrauch auch subjektiv bewertet und als extrem hoch, sehr hoch, hoch und durchschnittlich (extremely high, very high, high, medium)

bezeichnet. Aus den Resultaten ist ersichtbar, dass die Baustoffe wie z.B. Metalle, die durch wärmetechnisches Verfahren verarbeitet werden, oder Plastik, das in der Natur nicht vorkommt, als "extern hoch" bewertet werden.

Material	kWh/m ³	Energy rating
Copper	133,000	extremely high
Steel (ore)	80,000	extremely high
Aluminium	55,868	extremely high
Plastic	47,000	extremely high
Steel (recycled)	29,669	very high
Glass	23,000	very high
Fibre cement slates	12,783	very high
Clay tiles	1,520	High
Bricks	1,462	High
Plastic insulation	1,125	High
Plaster board	900	Medium
Imported softwood	754	Medium
Concrete	600	Medium
Sand cement render	400	Medium
Mineral fibre insulation	230	Low
UK green oak	220	Low
UK softwood (air dried)	110	Low
Sheep's wool	30	Very low

Tabelle 5: Durchschnittlicher Verbrauch der grauen Energie verschiedener Baustoffe

17-21 Vgl. Gruber/Santler 2008, 7

22 Vgl. <http://www.wta.de/en/%C3%B6kologlossar/prim%C3%A4renergie>

23 Vgl. Atkinson 2008, 15

5 Strohbau als Alternative zum konventionellen Bau

Stroh kann für die Herstellung von Dämmstoffen eingesetzt werden. Es ist in den meisten europäischen Ländern ein regional verfügbarer Reststoff und als nachwachsender Rohstoff in ausreichendem Ausmaß verfügbar. Im Bau wird Stroh am häufigsten in Form von Strohbällen verwendet. Diese werden von Landwirten nach der Ernte mit den Strohballenpressen aus auf den Feldern übriggebliebenen, getrockneten Halmen der Getreidepflanzen, erzeugt. Dank der einfachen Erreichbarkeit des Rohstoffes und deren rascher Verarbeitung, die durch den konventionellen, maschinellen, landwirtschaftlichen Arbeitsprozessen erfolgt, werden die Strohbälle in sehr kurzer Zeit, mit nur wenig Produktionsenergie hergestellt.

In der folgenden Tafel habe ich den nichterneuerbaren Teil der Primärenergie (PEI), der für die Herstellung von 1m³ Strohbällen notwendig ist, mit dem Energieeinsatz, der für die Herstellung der anderen Dämm- und Baustoffe benötigt wird, vergleicht. Der höchste Verhältnisunterschied entstand bei dem Vergleich des Hochlochziegels, der mit 2760MJ/m³ PEI, 33x größer ist, wie der PEI zur Herstellung von Strohbällen, der 84,105MJ/m³ beträgt. Auch die Herstellung der anderen Baustoffe benötigt mehr Energieeinsatz im Vergleich zu den Strohbällen.

16

Material	PEI MJ	Verhältniszahl	PEI Strohbälle
Stahlbeton	2309,67	27,5 x	
Hochlochziegel	2760	32,8 x	
EPS	1780,2	21,2 x	
Glaswolle	1155	13,7 x	84,105MJ
Holzfasserdämmplatte	784	9,3 x	
Hanfdämmstoffe	1148	13,6 x	
Schafwolle	394	4,7 x	

Tabelle 6: Vergleich der grauen Energie zur Herstellung von 1m³ Material (www.baubook.at)

Strohbau stammt zwar aus dem Westen, wird aber auch in Europa dank der guten Eigenschaften und leichter Erreichbarkeit von Stroh zu einer immer beliebteren Bauweise.

Alles begann mit dem Selbstbau, der Strohbau weckte aber bald auch die Aufmerksamkeit verschiedener Institute. Die Forscher haben in verschiedenen Ländern das Material untersucht und auch zertifiziert. Dadurch wurde die Strohballen auch in Europa zum rechtlich anerkannten Baustoff, geeignet für allgemeine Verwendung in der Bauwirtschaft.

5.1 Nachwachsende Roh- und Baustoffe

"Nachwachsende Rohstoffe, [...] , sind land- und forstwirtschaftlich erzeugte Produkte, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel Verwendung finden. Sie werden stofflich, aber auch zur Erzeugung von Wärme, Strom oder Kraftstoffen genutzt."²⁴

Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen wurden durch das Erscheinen der modernen Industriebaustoffe im 20. Jahrhundert, fast vollständig verdrängt. Ein steigendes Bewusstsein für Nachhaltigkeit, Sehnsucht nach dem Natürlichen und Ursprünglichen oder auch gesundheitliche Vorteile, wirken langsam ein stetiges Umdenken bei den Menschen aus. Folgend steigt wieder das Vertrauen in natürliche Bau-Rohstoffe, die durch ihre aufs Neue entdeckten, ausgezeichneten Eigenschaften immer interessanter für die heutige Bauwirtschaft und Gesellschaft sind.

Heute können mit Hilfe von Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffen innovative Lösungen realisiert werden, die sich durch hohe Funktionalität auszeichnen. Viele Bauten rund um die Welt, gebaut aus natürlichen Baustoffe, stehen schon mehr als 100 Jahre und sind wertvolle Beispiele die ein Beweis sind, dass man durch Verwendung der Rohstoffe aus der Natur ohne Vorfertigungsprozesse, ein gutes und langlebiges Gebäude ausbauen

kann. Es geht nicht darum in die Vergangenheit zu gehen, sondern die ausgezeichneten Eigenschaften eines in der Natur wachsenden Stoffes durch lange Praxis mit dem heutigen Wissen und innovativen Lösungen zu verbinden.

Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen sind öfters weniger toxisch, der Energieaufwand für ihre Herstellung in der Regel gering. Auch ihre Entsorgung ist Allgemeinen unproblematisch, da sie meistens wieder zurück in die Naturlaufkreise integriert werden können. Nachwachsende Baustoffe können immer wieder nachgepflanzt und in jedem Land gewonnen werden. Viele von ihnen speichern in ihrer Wachstumsphase CO₂, deswegen können wir auch sagen, dass sie Klimaschützer sind.²⁵

24,25 Vgl. www.nachwachsenderohstoffe.de

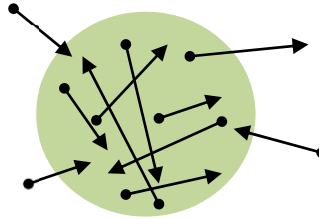
17

5.2 Verwendung der regionalen Rohstoffe

"Wenn die nachwachsenden Rohstoffe in heimischer Land- und Forstwirtschaft erzeugt und hierzulande auch weiter verarbeitet und verbraucht werden, bleibt die damit zusammenhängende Wertschöpfung im Land und schafft somit in der Regel neue Arbeitsplätze. Gerade für den strukturschwachen und oft von Abwanderung geprägten ländlichen Raum bietet dies große Chancen und neue Perspektiven für die Menschen vor Ort."²⁶

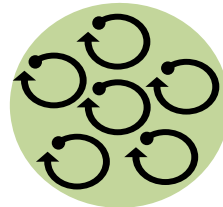
Darstellung einer zentralen Herstellung der konventionellen Baustoffe in einem Land:

- durch Import/Export, viele/lange Transportwege
- der Energieverbrauch ist hoch
- Wertschöpfung der regionalen Wirtschaft wird durch Globalisierung verdrängt



Darstellung einer dezentralen, regionalen Herstellung der nachwachsenden Baustoffe in dem gleichen Land:

- das Produkt bleibt in der Region
- die Transportwege sind kurz
- der Energieverbrauch ist gering
- die regionale Wirtschaft wird unterstützt und weiterentwickelt



Nachwachsende Rohstoffe punkten auf ökologischer, ökonomischer und sozialer Ebene und werden Nachhaltigkeitskonzepten vielfältig gerecht. In der Studie Haus der Zukunft²⁷ werden die wichtigsten Vorteile der nachwachsenden Rohstoffe, beobachtet in deren gesamten Lebenszyklus, in drei Bereiche gegliedert:

„baubiologische Vorteile in der Nutzungsphase (gesundes Raumklima)“

„regionale bzw. wirtschaftliche Vorteile auf Grund ihrer dezentralen Verfügbarkeit und des Potenzials zur Schaffung regionaler Wertschöpfungsketten aus einem landwirtschaftlichen Abfallprodukt“

„ökologische Vorteile (geringe Herstellungsenergie und CO₂ Neutralität, Entsorgung) Rohstoffbereitstellung und Aufbereitung“²²

Die wesentlichen nachwachsenden Baustoffe die im Strohballenbau vorkommen sind Holz, Stroh und Lehm.

In Europa ist Holz fast überall verfügbar und kann im Strohballen Bau zur Konstruktion der Bauten verwendet werden. Stroh kann aus verschiedenen Getreidearten, die für die Nahrungsindustrie angebaut werden, hergestellt werden und ist heute überall auf dem Land erreichbar. Lehm deckt einen großen Teil der Erdoberfläche und ist in vielen Regionen erhältlich. Diese drei Baustoffe sind in den meisten Fällen leicht erreichbar und sind die perfekte Kombination um hochqualitative Bauten zu errichten.



Abbildung 2



Abbildung 3



Abbildung 4

Die Holzindustrie hat sich vor allem in den letzten Jahren stark entwickelt. Man bestellt Holz bei den Firmen, Geschäften oder direkt an der in der nahegelegenen Säge.

Stroh wurde in einigen Ländern schon zertifiziert und ist so normal erreichbar. Der Strohbau heute erfolgt jedoch noch öfters durch private Vereinbarung zwischen dem Käufer und Landwirten. Mit der Erstellung eines guten Kooperationsmodells können Bauherr, Landwirt, Baustoffhändler und Käufer durch eine zentrale Koordinationsstelle leicht in Verbindung kommen. Somit wird der Weg des Auftraggebers zu dem Strohballedämmstoff einfacher und sicherer.

Im Rahmen der Projekte²⁸ „Stroh Kompakt“ und „Stroh Koop“ wurden verschiedene Kooperationssysteme zur Umsetzung des Strohballembau im Bauwesen entwickelt. Auch die Gruppe für Angepasste Technologie hat im Bericht „Stroh-Cert: Zertifizierung, Logistik und Qualitätsmanagement für den Strohballembau“²⁹, verschiedene Logistikkonzepte untersucht und das Qualitätsmanagement definiert.

Auf den folgenden Abbildungen werden zwei von ihnen untersuchte mögliche Konzepte zur Produktion und Logistik der Strohballe dargestellt.

26 Vgl. www.nachwachsenderohstoffe.de

27 Vgl. GrAT 2001,15

28 Vgl. H. Adensam u.a. 2005

29 Vgl. GrAT u.a. 2011, 45

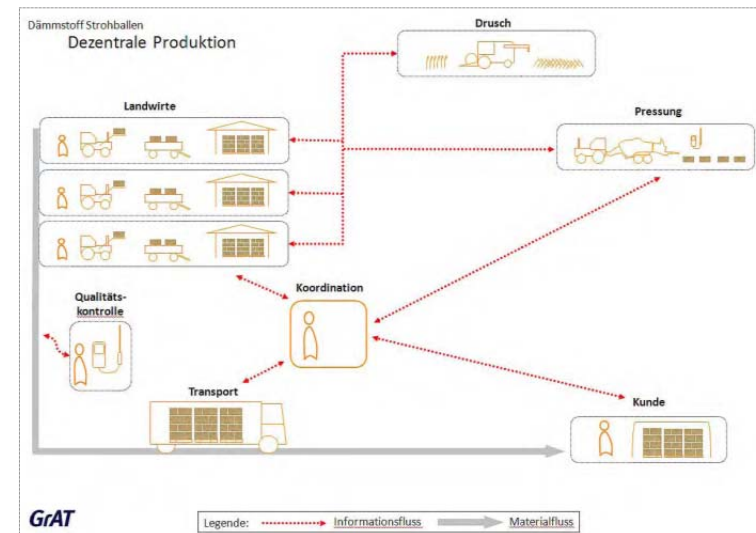


Abbildung 5

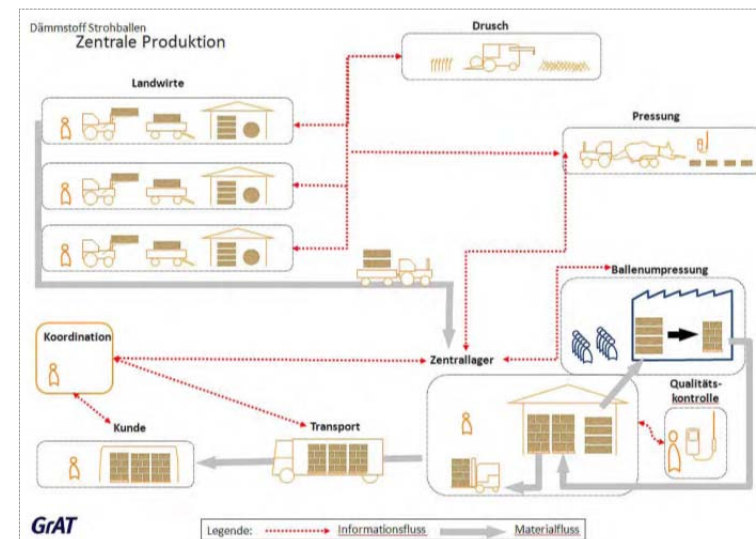


Abbildung 6

5.2.1 Holz

- „Kohlenstoff, der im Holz gespeichert ist, welches als Baumaterial verwendet wird, bindet für ungefähr 80 Jahre.“³⁰

- „Österreichische Wälder z.B., dessen Gesamtfläche 3,9 Mio. Hektar beträgt, akkumulieren nahezu 800 Mio. Tonnen Kohlenstoff, was einer 40 mal größeren Menge der Jahresemissionen von Treibhausgasen in Österreich entspricht [Proholz, 2003]. Eine grobe Ausrechnung dieser Werte zeigt, dass auf dem ganzen Alpengebiet mit ungefähr 7,5 Mio. Hektar Wald, um die 1,5 Mrd. Tonnen von Kohlenstoff akkumuliert werden.“³¹

- „Ein modernes Einfamilienhaus, das mit einem Holzgerüst und 15 Tonnen verschiedener Holzelemente gebaut wird, was ungefähr 35 m³ Holz entspricht, absorbiert aus der Atmosphäre 28 Tonnen CO₂“³²

- „Wenn wir das Haus nach 80 Jahren abreißen und dabei 50% des Gebäudes thermisch recyceln würden, würden wir ungefähr 30.000 kWh Energie gewinnen (bei Verbrennung von 1 m³ Holz entstehen im Durchschnitt 1.800 kWh Energie). Mit einer solchen Energiemenge decken wir zweijährige Energiebedürfnisse eines Passivhauses mit einer Wohnfläche von 100 m².“³³

Holz ist ein natürliches Bauelement, das alle Eigenschaften besitzt, um ein angenehmes Wohnklima erstellen zu können. Er wirkt Wärmedämmend, entfeuchtet die Luft und gibt sie wenn nötig wieder ab, er ist nicht elektrostatisch, hat eine hohe Flächentemperatur, einen angenehmen Duft und strahlt keine schädlichen Stoffe aus.

Holz ist ein vielseitiges Produkt. Es wird von der Holzverarbeitungsindustrie bis hin zum Baufach verwendet, mit seinen Resten können wir unser Zuhause

wärmen. Im Baufach ist Holz aufgrund seiner Elastizität und seinen statischen Eigenschaften ein unentbehrliches Material.

Slowenien ist der dritt meist bewaldete Land in Europa, gleich nach Schweden und Finnland. Slowenien wird außerdem Land der Wälder genannt, da mehr als die Hälfte (58,5% oder 1.185.169 Hektar Wald) der slowenischen Staatsfläche mit Wald bedeckt ist.³⁴

Anteil der slowenischen Waldfläche

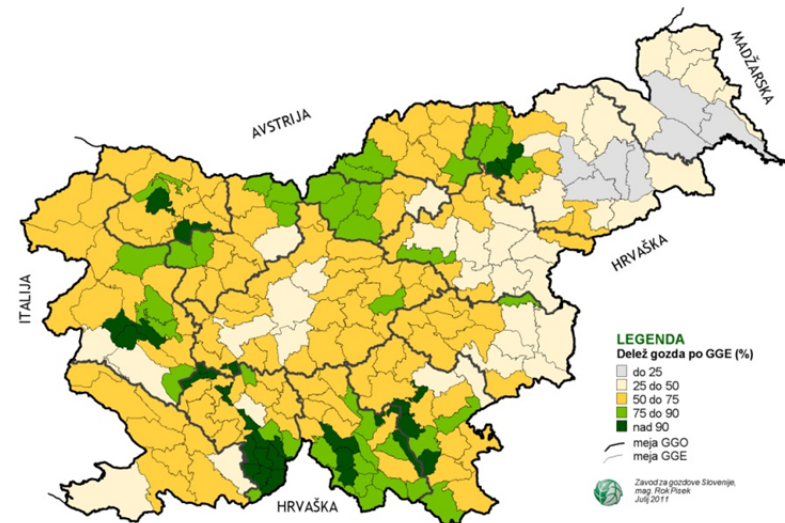


Abbildung 7, grau:25%, hellgelb: 25-50%, gelb: 50-75%, grün:75-90%, dunkelgrün: über 90%

Trotz dem ist der Gebrauch von Holz im Baufach sehr gering. 2008 wurden nur 10% der Einfamilienhäuser mit Holz gebaut. (56 % Ziegelbau, 16 % Beton und gemischte Konstruktionen, andere Baustoffe inkl. Holz sind in geringerem Maße zu finden)

Jeder Kubikmeter Holz, das beim Bau anstelle von Beton, Ziegeln oder Stahl verwendet wird oder das das Fossilelement ersetzt, verringert die Emission von beträchtlichen Mengen des Kohlendioxids in unsere Umwelt³⁶. Auf Grund

dessen sollten wir der Ausnutzung dieser Naturgegebenheiten mehr Aufmerksamkeit widmen, da schon unverarbeitetes Holz eine regenerative Quelle ist.

Wenn wir allerdings die Prinzipien der Bau- und Konstruktionsgesetze der Holzimpregnierung berücksichtigen (trockenes Holz einbauen und es so auch erhalten) ist eine chemische Behandlung des Holzes nicht nötig.³⁷

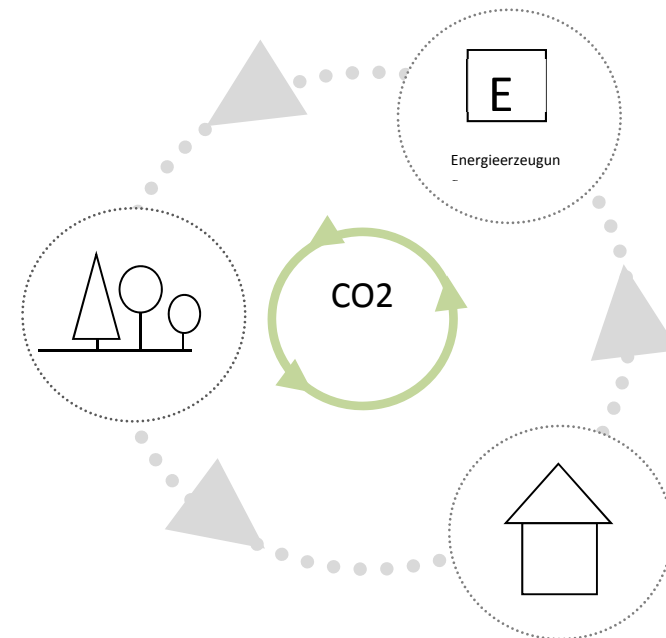
Wenn das Holzhaus nicht mit chemischen Mitteln bearbeitet wurde und wir beim Abreißen die Bauelemente aus Holz nach Sorten trennen können ist es leicht, das Haus zu beseitigen. Wir unterscheiden zwischen zwei Arten von Recycling: thermisches und materielles Recycling. Beim materiellen Recycling wird das Abfallholz beim Abreißen zu Spanplatten verarbeitet und somit zurück in den Wirtschaftskreis integriert. Beim thermischen Recycling hingegen wird Altholz als Heizmaterial und somit zur Herstellung von elektrischer Energie verwendet.

Im Hinblick auf CO₂ Emissionen ist Holz neutral. In der Wachstumsphase des Baumes speichert sich das CO₂ in dem Holz und verbleibt dort für den Rest des Lebenszyklus des Baumes. Als der Baum abstirbt, zersetzen Mikroorganismen das Holz und setzen somit das angesammelte CO₂ wieder zurück in die Atmosphäre welches sich dann wieder in neuem Holz und neuen Pflanzen ansammelt. Es handelt sich also um einen Kreisprozess, das neutral auf das Klima wirkt.

Da das Abfallholz auch als Energieträger verwendet werden kann, was bedeutet, dass er beim Zersetzungsprozess Energie produziert, können wir ihn auch als CO₂ negativ bewerten.

Der Großteil des Schnittholzes wird im Bauwesen verwendet, jedoch sind nur 50% des Holzes für den Verkauf geeignet. Das restliche, „minderwertigere“ Holz kommt in die kleineren Sägewerke und wird zu vielen verschiedenen Produkten hergestellt. Diese kann man als Energiequellen oder in den späteren Industriebetrieben zur Herstellung von Papier, Zellulose, usw. verwenden.

30-31 Vgl. , SPERZEL 2004, 25
32 Vgl. , SPERZEL 2004, 37
33 Vgl. , SPERZEL 2004, 38
34 Vgl. www.zgs.gov.si
35 Vgl. HUMAR / KRAIGHER 2009, 136
36 Vgl. SPERZEL 2004, 25
37 Vgl. SPERZEL 2004, 37



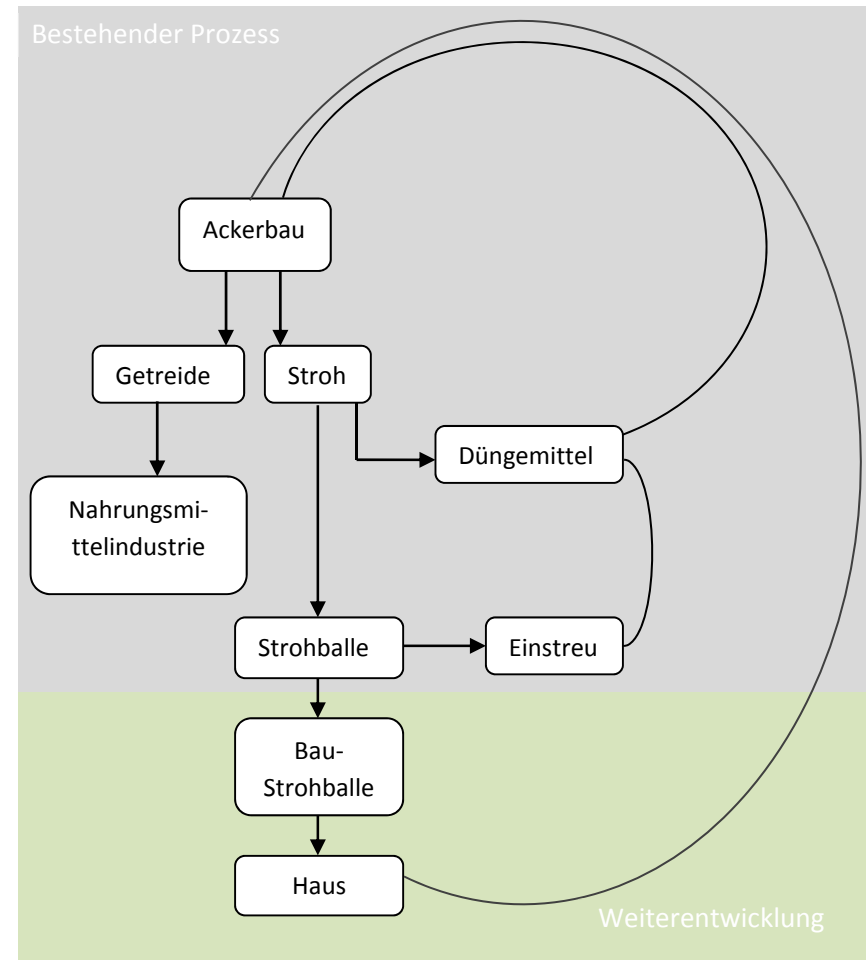
5.2.2 Stroh

Stroh ist ein Nebenprodukt der Landwirtschaft und kann aus ziemlich allen grasartig wachsenden Pflanzen hergestellt werden. In den meisten Fällen assoziieren wir „Stroh“ mit den trockenen Halmen unterschiedlicher Getreidearten, ohne Wurzeln und Körner. Dank der rohrförmigen Struktur der Halme ist Stroh sehr reißfest und elastisch. Die Lufträume in dem gepressten Stroh haben außerdem eine sehr gute Wärmedämmwirkung.

Da das Wachstum des Strohs durch Regen und Sonne geprägt wird, wird für dessen Erzeugung sehr wenig Energie verbraucht. Nicht zu übersehen ist auch, dass Stroh ein Nebenprodukt (Abfall) in der Nahrungsmittelindustrie darstellt. Der primäre Zweck des Ackerbaus ist der Getreideanbau und daher ist die ganze Aufmerksamkeit bzw. Herstellungenergie bis zur Ernte in das Korn orientiert. Stroh ist der Rest und bleibt auf dem Feld liegen. Es wird in den meisten Fällen als Düngemittel in die Erde gepflügt oder manchmal als Einstreu für das Vieh verwendet. Auch der maschinelle Aufwand, der in der Landwirtschaft bei dem Säen, der Pflege und Ernte aufkommt, ist energetisch betrachtet, sehr gering.

Für die meisten Baustoffe muss ein separater Industriebetrieb eröffnet werden, nachdem dieser bei dem Strohbau schon Großteils vorhanden ist.

Auch der Abbau ist ein wichtiges Element beim Stroh, da Stroh sich von alleine abbaut und dabei die Umwelt nicht belastet. Stroh ist ähnlich wie Holz CO₂ neutral, da es in seiner Wachstumsphase große Mengen von CO₂ aus der Atmosphäre bindet, welches es beim Abbauprozess wieder in die Atmosphäre freisetzt.



Ähnlich wie jede Art von Technologie und Literatur, hat auch der Strohbau seine Vor- und Nachteile. Da Stroh sehr empfindlich auf Regen ist und dieser seine Qualität stark beeinträchtigen kann, ist es äußerst wichtig, dass wir den

Kontakt mit Feuchte verhindern und durch angemessenen Schutz vorbeugen. Die Ernte muss in den Nachmittagszeiten im trockenen und heißen Wetter erfolgen. Auch der Transport muss entweder im trockenen Wetter geplant werden oder man transportiert die Ballen im geschlossenen Anhänger. In der Bauphase ist es äußerst wichtig, dass das Dach als erstes erbaut wird, damit die Ballen trocken gelagert und trotz schlechtem Wetter eingebaut werden können.

Wie bei dem Bau mit anderen Baumaterialien, muss viel Aufmerksamkeit der Lösung von kleinen Details gewidmet werden, um somit die Wärmebrücken, das Eindringen von Feuchtigkeit oder Feuer vorzubeugen. Um eine Baubewilligung in Slowenien zu bekommen, muss Stroh mindestens von einer Seite mit einer Schicht verputzt werden, damit ihr Feuerwiderstand erhöht wird. An der Innenseite wird dafür meistens Lehmverputz und auf der Außenseite Kalkverputz, der es vor Regen bewahrt, verwendet. Bei der Konstruktion ist es äußerst Wichtig, dass die Wand von innen nach außen diffusionsoffen ist, damit die Feuchte aus dem Raum ungestört übergehen kann.

Der Gebrauch von plastischen Folien und Materialien ist bei einem solchen Bau nicht zu empfehlen, da diese den Übergang von Feuchte stören und somit das Ansammeln von Feuchte verursachen würden.

Der Stroh ist ein anerkanntes und zertifiziertes Baumaterial. Es wird in das Objekt wie jedes andere Isolationsmaterial eingebaut, die Lebenserwartung des Gebäudes wird durch ihre Verwendung nicht beeinträchtigt. Auch visuell definiert die Strohballen das Objekt nicht und kann somit sowohl in modernen als auch konventionellen Bauten angewendet werden.

Abmessungen einer Strohballen:

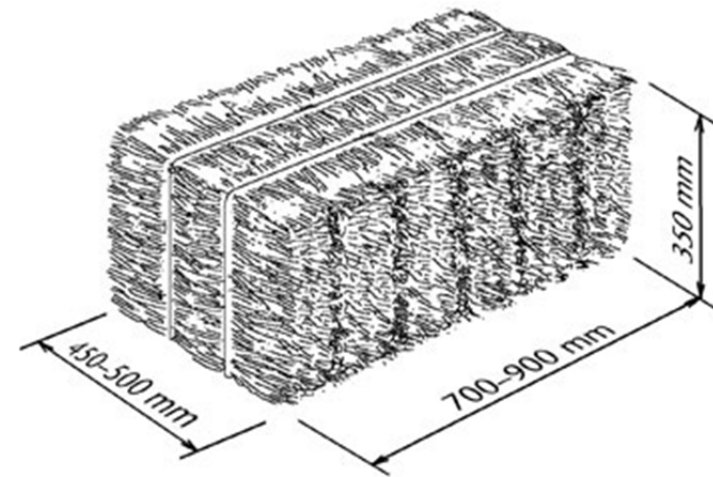


Abbildung 8

○ weitere mögliche Maßen (seltener verwendet)³⁸:

- Kleinballen: h 30 x b 40 x l 60 – 120 cm
- Kleinballen: h 37 x b 60 x l 60 – 120 cm
- Kleinballen h 40 x b 50 x l 60 – 120 cm
- mittelgroße Ballen: h 70 x b 80 x l 70 – 240 cm
- mittelgroße Ballen: h 80 x b 80 x l 100 – 250 cm
- Großballen: h 80 x b 120 x l 100 – 250 cm

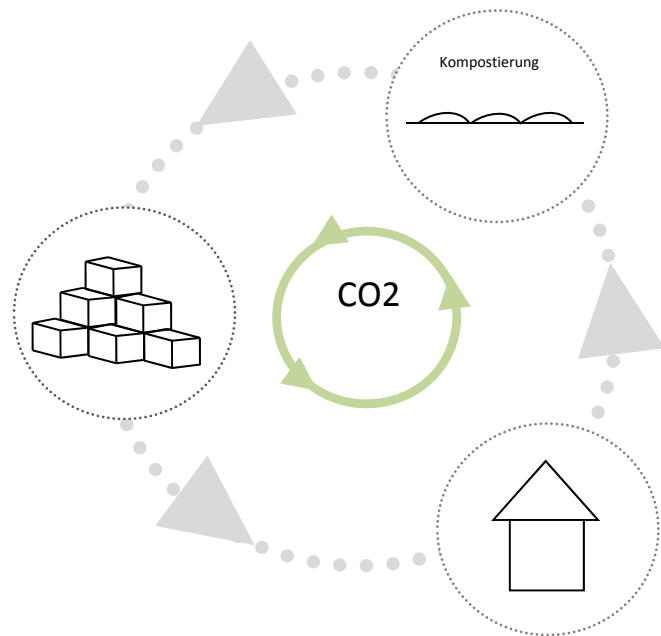
Ich habe versucht, eine kurze Einsicht in die Rohstoffverfügbarkeit in Slowenien zu schaffen.

Die Strohballen für den Bau werden meistens aus Weizenstroh erzeugt. In Slowenien wurden im Jahr 2012 auf 34.572ha Fläche Weizen und Dinkel angebaut[www.stat.si]. Eine durchschnittliche Ernte ergibt ca. 4.0t Kernanteil pro ha, was ungefähr 138.288t Kernanteil auf der Gesamtfläche ausmacht. Der Ernteerlös beträgt 0,5 und somit können wir mit 138288t Stroh von der Gesamtfläche rechnen. Strohballen, geeignet für Bauwesen, wiegen 15kg, was zwischen 8-9 Millionen Strohballen mit einer Dichte von 110kg/m³ und in Abmessungen von 30/50/90cm, pro Jahr ergibt. Die Menge der Wohnungsneubauten in den letzten 10 Jahren beträgt Durchschnitt ca. 4000 Bauten pro Jahr³⁹. In ein durchschnittliches Haus werden ungefähr 400 Strohballen eingebaut. Diesen Ausrechnungen zufolge genügen die Strohballen von einem Jahr für 22.500 Häuser.

Anders gesagt, die jährlichen Bedürfnisse an Strohballen für das Bauwesen, machen in Slowenien nur 15% der möglicher Herstellung aus. Letztlich könnte man den ganzen Dämmstoffbedarf für die Neubauten, mit dem regionalen, nachwachsenden Rohstoff Stroh decken und es bliebe noch genug übrig, um die Sanierungen der Altbauten mit Strohballen durchzuführen.

38 Vgl. www.baubiologie.at/asbn/tipp_strohballen.html

39 Vgl. www.stat.si



5.2.3 Lehm

Lehm ist eine Mischung aus Ton, Schluff und Sand, sowie Kies oder Steinen und ist einer der ältesten Baustoffe der Welt. Als Verputz spielt er beim Strohballenbau eine entscheidende Rolle. Er bindet die Strohballen und armiert die Wände, schließt Luftlöcher, erhöht die Feuerbeständigkeit und ist ein guter Schalldämpfer.

Nachdem der Lehm schon als fertiger Baustoff in der Natur zur Verfügung steht, benötigt er bei der Aufbereitung und Verarbeitung im Gegensatz zu den anderen Baustoffen sehr wenig Energie. Im Vergleich zur Herstellungsenergie von Mauerziegeln oder Stahlbeton, benötigt Lehm nur etwa 1 % dieses Anteils. Ungebrannter Lehm ist auch unbegrenzt wiederverwendbar und als ein Naturbaustoff viel besser als Beton oder Ziegel.

Lehm ist kein standardisierter Baustoff. Seine Eigenschaften unterscheiden sich je nach Fundort, deshalb variieren auch die Kombinationen zur Vorbereitung des optimalen Gemisches zur Erzeugung des Lehmputzes. Um die Bindekraft des Lehms zu aktivieren und das Arbeiten mit ihm zu ermöglichen, muss es mit Wasser vermischt werden. Durch Wasserverdunstung bei der Trocknung reduziert sich das Volumen und Lehm beginnt zu reißen. Aus diesem Grund wird Lehm immer mit Sand vermischt, damit der Tonanteil reduziert wird und somit das Schwinden vermindert wird. Die Gleichgewichtsfeuchte des Lehms liegt bei (0,4-6 Gewichtsprozent) und somit werden mit Lehm verputzte organische Stoffe entfeuchtet. Das erzeugt einen sehr guten Schutz vor Insekten und Pilzen. Man kann auch von einer Konservierung der Stoffe durch Lehm sprechen.

Auch die Luftfeuchtigkeit wird von Lehm aufgenommen, was zu einem sehr gesunden Wohnklima beiträgt. Er nimmt die Feuchte aus der Luft auf und gibt sie bei Bedarf wieder ab. Ungebrannte Lehmsteine können innerhalb von 2 Tagen 30-mal so viel Feuchte aufnehmen, wie gebrannte Ziegel. Die Messungen zeigten auch, dass die relative Luftfeuchtigkeit in Wohnräumen über das Jahr nur um 5 % schwankte. Durch eine konstante Luftfeuchtigkeit

wird ein sehr angenehmes Raumklima erzeugt, die Austrocknung der Schleimhäute und die Erkältungskrankheiten werden vermindert und auch die Staubbildung wird stark reduziert.

Lehm absorbiert im Wasserdampf gelöste Schadstoffe aus der Luft. Es gilt auch, dass er die Raumluft "reinigt", was aber bis jetzt nur auf subjektiven Wahrnehmungen basiert, ohne einen wissenschaftlichen Nachweis. Der große Nachteil des Lehms ist, dass er Wasserempfindlich ist und muss deshalb durch konstruktive Maßnahmen (Dachüberstand,...) oder entsprechende Oberflächenbehandlungen (Kalkverputz...), vor Regen geschützt werden.

Die Wärmespeicherfähigkeiten sind ähnlich wie bei den anderen schweren Baustoffen sehr gut, was zur Verbesserung des Wohnklimas beiträgt.⁴⁰

⁴⁰ Vgl. Minke 2006,11/16

5.3 Einleitung in den Strohballenbau

5.3.1 Geschichte

Bauen mit Stroh begann um 1800 in den USA mit der Entwicklung der Strohballen-Pressen. In Nebraska, dem Gebiet mit riesigen Getreidefeldern, bestand ein großer Mangel an Holz. Durch die Entwicklung der Strohballen-Pressen entdecken die Ackerbauern, dass man sowohl im Winter als auch in Sommer rasch eine warme und komfortable Unterkunft bauen kann. Diese Bauten, die als temporäre Bauten gedacht waren, erweisen sich jedoch als vollwertige, über Jahrzehnte beständige Unterkünfte. So wurde im Jahr 1903 das älteste selbsttragende - noch heute stehendes Strohhaus in Nebraska errichtet (Abbildung 9).

Bauen mit Strohballen war somit in den Feldern von Nebraska der schnellste und günstigste Weg um sich eine temporäre Bleibe zu erbauen.

In dem Zeitraum von 1900 - 1950 wurden in den Vereinigten Staaten zahlreiche Gebäude aus Strohballen errichtet die noch heute stehen und ihren Zweck erfüllen.⁴¹

Zwischen 1950-1970 wird Stroh als Baustoff aufgrund der schnellen Entwicklung der Bauwirtschaft und den zahlreichen neuen Baumaterialien, die auf dem Markt erscheinen, in den Hintergrund gedrängt. Erst in den 80ern, als dem Umweltschutz mehr Aufmerksamkeit gewidmet wird, wird die Strohballen mit ihren umweltfreundlichen und guten Baueigenschaften wieder ein interessanter Baustoff.

⁴¹ Vgl. Gruber/Santler 2008, 11-30



Abbildung 9, 1903 Burke Haus, Nebraska



Abbildung 10, 1992 Die erste offizielle Bauerlaubnis, New Mexiko



Abbildung 11, 1938 Der erste Holzständerbau, Alabama

5.3.2 Strohballenbau Heute

Nach 1900 findet der Bau mit Strohballen auch den Weg nach Europa. Bis 2001 werden schon mehr als 4000 Gebäude aus Strohballen vermerkt. Institute organisieren europaweit Seminare, Bildungen und Workshops und führen Materialprüfungen und Forschungen durch, mit Hilfe welcher sie die nötigen Zertifikate erlangen und somit die Strohballen als einen gültigen Baustoff in das Bauwesen integrieren.

Viel Aufmerksamkeit wird auch der Entwicklung von unterschiedlichen Arten der Ausführung gewidmet. Bei der aus Amerika (v.a. der Nebraska Still) stammenden primären, lasttragenden Bauweise, ist keine zusätzliche statische Konstruktion erforderlich. In Europa hingegen werden Strohballen öfters in eine Holzkonstruktion eingebaut.⁴² Es wurden auch die Fertig-Modulsysteme entwickelt, bei denen mit Strohballengedämmte Wand- oder Deckenmodule auf der Baustelle rasch zusammengebaut werden.

Mit der Strohballenbauweise ausgeführte Objekte sind auf der ganzen Welt zu finden. Einige davon sind auf den folgenden Bildern zu erkennen.

⁴² Vgl. Gruber/Santler 2008, 54



Abbildung 12, 2002 Passivhaus, Atelier Werner Schmidt, Schweiz



Abbildung 13, 2007 Volksschule, Steen Moeller, Brenderup



Abbildung 14, Strohballenkuppel - Musikstudio, Gernot Minke



Abbildung 15, 5-stöckiges Holzständergebäude
Amsterdam



Abbildung 17, 2008 Jugendhaus, Dirk Scharmer, Deutschland



Abbildung 16, 2003, Passivhaus Preisträger "Klimahaus 2003" Magareth Schwarz Werner Schmidt,
Südtirol



Abbildung 18, 2005 Nawaro Infozentrum, GrAT, Wien

5.3.3 Bauordnungen und Zulassungen

Im Rahmen des Projektes "Haus der Zukunft" (2001) der Gruppe Angepasste Technologie (GrAT) der TU Wien, wurden sämtliche Forschungen über die technischen Eigenschaften eines Holzständer-Wandsystems, dass mit Stroh gedämmt wird, durchgeführt und Tests sowie Prüfzertifikate erstellt. Das Hauptziel der Forschungen war, die Strohballenbauweise von einer experimentellen Ebene auf professionelles Niveau zu bringen. Die Feuerbeständigkeit und Wärmeleitfähigkeit wurden in Übereinstimmung mit österreichischen und europäischen Baunormen geprüft, was meiner Meinung nach ein bedeutender Schritt für die in diesem Teil von Europa noch unbekannt Bauweise war.

5.3.3.1 Wärmedämmverhalten

In der ersten Tabelle sind die Ergebnisse der Messungen über die Wärmeleitfähigkeit der untersuchten Weizen-Strohballen verschiedener Dichten dargestellt. Die Untersuchungen wurden von der Versuchs- und Forschungsanstalt der MA39 neu und gemäß der ÖNORM B6015 ausgeführt.

MA39 Konfiguration	Test Konfiguration	Stärke cm	Dichte kg/m ³	rel. Feuchte %	λ-Prüfwert W/mK	λ-Rechenwert W/mK
Hesto-Gerät	Weizenstroh	12,65	73	Ausgleichsfeuchte*	0,0369	0,0443
Hesto-Gerät	Weizenstroh	11,28	83,8	Ausgleichsfeuchte*	0,0337	0,0404

Test Konfiguration	Stärke Cm	Mitteltem p. der Proben °C	Dichte kg/m ³	rel. Feuchte %	λ-Prüfwert W/mK	λ-Rechenwert W/mK
Weizenstrohballen	10,06	10	100.8	Ausgleichsfeuchte*	0,0380	0,0456
Weizenstrohballen	10,06	19,5	100.8	Ausgleichsfeuchte*	0,0394	0,0456
Weizenstrohballen	10,06	28,7	100.8	Ausgleichsfeuchte*	0,0408	0,0456

Da Europaweit der lambda10 trocken-Wert inkl. 20% Feuchtezuschlag als Referenzwert anzugeben ist, gilt für Weizen (Getreide-) Strohballen mit einem Raumgewicht von 90 kg/m³ (Durchschnittsdichte kleiner Ballen):

Lambda 10 trocken: 0,045 W/mK

Die Wärmeleitfähigkeit von Strohballen liegt somit genau im Bereich anderer nachwachsender Rohstoffe wie Schilfrohr, Flachsmatten, Korkplatten, Kokosmatten, Schafwolle aber auch in dem von Zellulose und vieler anderer Massendämmstoffe. Durch diese guten Dämmeigenschaften der Strohballen, erreichen (verputzte) Außenwände bei einer Dämmstoff-Stärke von 35 cm und Gesamtstärke von 42 cm (inkl. Putzträger und Verputz) einen U-(k)Wert von 0,12 W/m²K. Eine solche Konstruktion ist bereits Passivhausstandard (kleiner als 0,15 W/m²K).

5.3.3.2 Brandverhalten

Die Untersuchungen des Brandverhaltens von Baustoffen und Bauteilen wurden der MA39-VFA, der Versuchs- und Forschungsanstalt der Stadt Wien (Akkreditierte Prüf- und Überwachungsstelle) in Auftrag gegeben und durchgeführt.

Die Untersuchungsbedingungen basieren auf der ÖNORM B3800.

Damit ein Baustoff aus brandschutztechnischer Sicht in eine Außenwand eingebaut werden darf, muss er mindestens die Anforderungen der Baustoffklasse B2 (normal entflammbar) erfüllen.

Es wurden Probekörper für den B2 Test hergestellt. Diese unterschieden sich in Größe, Dichte und Herkommen von Weizenstroh, welches verschiedenen Kleinballen (0,36x0,46x0,75m) bzw. Großballen (1,20x0,70x2,50m) entnommen wurde.

Probekörper: 5 Versuchsproben 19x10x5cm und 5 Versuchsproben 24x10x5cm

Strohart: Weizenstroh/unbehandelt

Dichte : 90 kg/m³

Ballengröße: Kleinballen

Probekörper: 5 Versuchsproben 19x10x5cm und 5 Versuchsproben 24x10x5cm

Strohart: Weizenstroh/unbehandelt

Dichte : 120 kg/m³

Ballengröße: Großballen

Das unbehandelte und nicht imprägnierte Weizenstroh mit einer Rohdichte von 90 kg/m³, so wie auch von 120 kg/m³, hat die Testierungen erfolgreich überstanden und wurde somit der Baustoffklasse B2 zugeordnet.

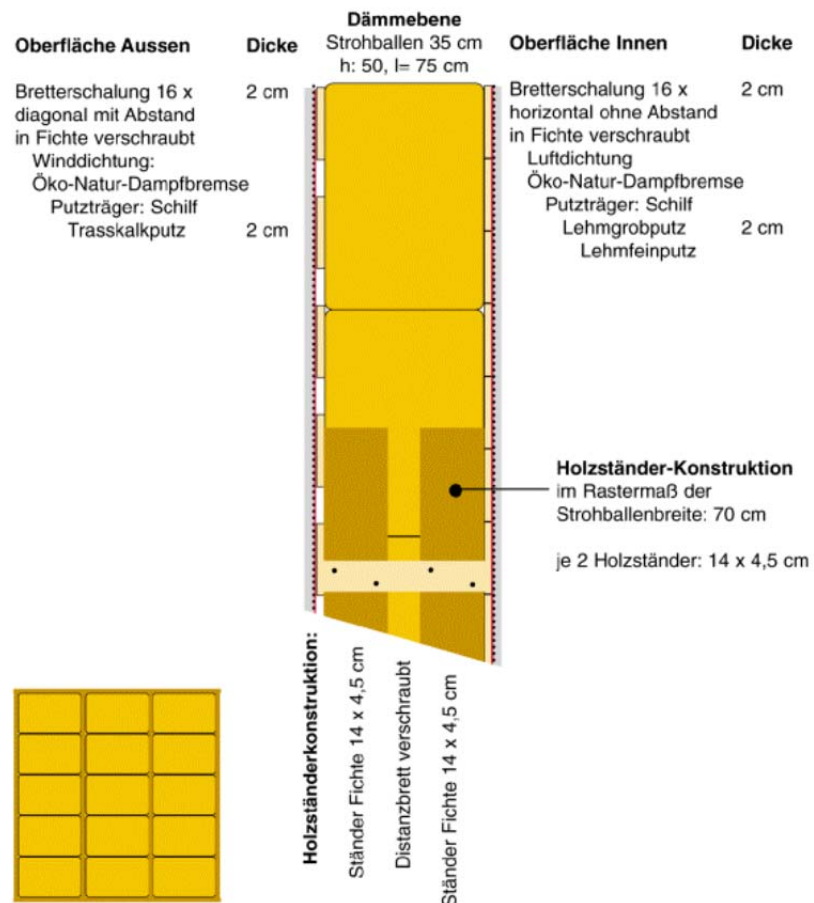
Zur Bauteilüberprüfung der Brandbeständigkeit eines Wandaufbaus mit Strohballendämmung und dessen Zuordnung in eine entsprechende Bauteilklasse (F30 - F90), haben die Forscher der GrAT eine Musterwand in den

Abmessungen 250x228cm und einer Dicke von 43 cm gebaut. Die Strohballendämmung wurde in die Holzkonstruktion eingepresst und zusätzlich mit einer Brettschalung verkleidet (Windaussteifung). Auf die Brettschalung wurde das Schilfrohr (Putzträger) befestigt und mit Lehm von der inneren und Trassitkalk von der äußeren Seite verputzt.

In der Folge werden die Errichtung der Probewand und ein detaillierter Schnitt der Musterwand vorgestellt.



Errichtung der Probewand



Brandmodell für F90-Überprüfung: (b) 228 x (h) 250 cm, Dicke: 43 cm

Kenndaten Materialien:	Material	Maße	Anmerkung
Aussenputz:	Trasskalk	2 cm	verrieben
Putzträger:	Schilf		drahtgebunden, angetackert
Dampfbremse:	Öko-Natur		Kraftpapier verklebt
Bretterschalung:	Fichte	2 cm	an Konstruktion verschraubt
Wärmedämmung:	Strohballen	35 cm	Weizenstroh unbehandelt
Bretterschalung:	Fichte	2 cm	an Konstruktion verschraubt
Dampfbremse:	Öko-Natur		Kraftpapier verklebt
Putzträger:	Schilf		drahtgebunden, angetackert
Innenputz:	Lehm	2 cm	Grob- und Feinputz

Lehmverputzte Innenseite des Strohwandaufbaus beim Brandversuch

Die brandtechnische Überprüfung dieses Bauteils ergab F90 (Brandbeständig).

"Das bedeutet für den in der MA39 nach ÖNORM B3800 überprüften Wandaufbau (F90), dass dieser in der geeigneten Ausführung in sämtlichen Bauteilen von Ein-, Zweifamilien- und Reihenhäusern bis 2 Geschoßen (außer Keller) sowie in überirdischen Garagen bis 100 m², landwirtschaftlichen Nebengebäuden und Wirtschaftsgebäuden uneingeschränkt eingesetzt werden kann." (Haus der Zukunft 2001, 94)

Ein anderer Test den ich noch kurz erwähnen möchte, wurde im Juni 2011 anhand des Projektes „Selected Properties of Natural Based and Other Materials, Structural Components and Buildings“, unterstützt von dem Ministry of Industry and Trade in der Tschechischen Republik durchgeführt. Im Gegensatz zu den Untersuchungen in Wien haben die Experten die Lasttragende Strohballenwand untersucht. Die Wand wurde aus Strohballen in Abmessungen 50 x 42 x 50cm und Höhe und Breite von 3m gebaut. Die Strohballen wurden zwischen den Holzrahmen gepresst und hatten eine Dichte von 77kg/m³ vor dem Einbau und 93 kg/m³ nach der Kompression. Auf die Strohballen wurde beidseitig das Stahlnetz befestigt, innen mit Lehm und außen mit Kalk verputzt. Die Wand hielt 120 Minuten aus.

(Quelle – Film: <http://www.youtube.com/watch?v=sF8s2ULM8Eg>)

5.3.3.3 Schallschutz

„Aus der Praxis ist bekannt, dass verputzte Strohballenwände einen guten Schallschutz bieten. Je nach Konstruktion mit Putzen, Platten, oder Schallungen sind Schalldämmwerte R_w von über 50dB zu erreichen.“

[Müller 2006, 47]

Die exakten Schallmessungen der Strohballenwände fehlen und somit gibt es noch keine schalltechnischen Kennwerte. Die Schallschutzeigenschaften wurden qualitativ auf bestehenden Studien abgeschätzt. Die Messungen an den Strohballenwänden und Gebäuden wurden in Australien an einem Musikstudio durchgeführt. Die Strohballenwände waren 45cm dick und mit Platten verkleidet. Bei einem Schallpegel von 114-117dB innerhalb des Gebäudes wurde der Außenlärmpegel zwischen 62 und 71dB gemessen (Messungsfrequenz 500-10,000Hz). Dies entspricht einer Schallpegeldifferenz D von 435dB (John Glassford, Huff n Puff Constructions, Australien) [Haus Der Zukunft]

5.3.3.4 Erdbebentest

Auf der Universität in Nevada in Reno (University of Nevada) wurde nach dem Erdbeben im Pakistan (2005) eine Selbsttragende Konstruktion einem Beben der Stärke 7,9 und 0,82g (zweimal mehr als in Pakistan) ausgesetzt. An den Anschlussstellen riss der Putz, die Stabilität der Wände wurde jedoch nicht beschädigt.

[http://nees.unr.edu/projects/straw_bale_house.html]

5.3.3.5 Europäisch-Technische-Zulassung ETZ

Ein anerkanntes Zertifikat wurde im Jahr 2005 auch von dem Österreichischen Ökologie-Institut ausgestellt. Dieses bewies, dass der Strohdämmstoff in dem EU Gebiet ein gültiger und zugelassener Baustoff ist. Mit der Studie "Stroh Kompakt" wurden die wichtigsten Qualitätseigenschaften des Stroh für die Europäisch-Technische-Zulassung (ETZ) überprüft.

Die Ergebnisse zeigen die Kennwerte der Strohballen, die als Dämmstoff herangezogen werden können:

Größe der Strohballendämmung

- Länge: 60 bis 90 cm
- Breite: 45 bis 50 cm
- Höhe: 36 bis 40 cm
- Rohdichte: 80 kg/m³ bis 90 kg/m³
- Feuchtegehalt: < 15%
- Unkrautbesatz: < 0,5 gew.%
- Restkornanteil: < 0,4 gew.%

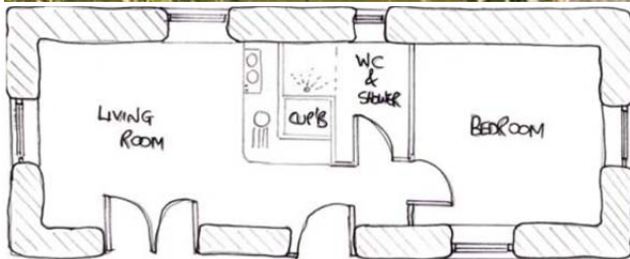
Prüfergebnisse

- Wärmeleitfähigkeit: $\lambda_D(23/50) = 0,046 \text{ W/mK}$
- Brandverhalten: B2
- Strömungswiderstand: 0,43 Pa s/m³
- Wasseraufnahme: 5 kg/m³
- Setzung im Bauteil: max. 2,3 % bei extremen Transportbedingungen
- Resistenz gegen biologische Einwirkungen: Klasse 3

(Gruber/Santler 2008, 53)

5.3.3.6 Temperaturdifferenz und zeitlicher Schwankungsverlauf

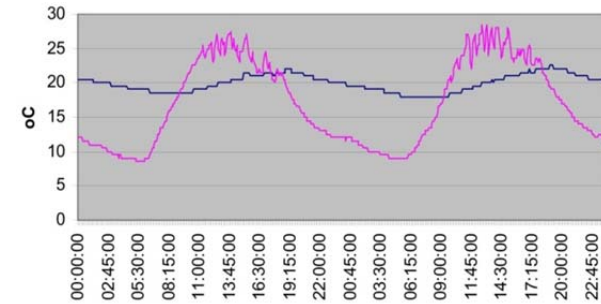
Carol Atkinson hat im Jahr 2007 ein kleines lastragendes Strohballenhaus "The Straw Bale Cabin" entworfen (27m² Nutzfläche) und verschiedene Untersuchungen an ihm durchgeführt. Die Ergebnisse hat sie in ihrer Masterarbeit gesammelt und ausführlich beschrieben.



Straw Bale Cabin (4m x 10m)

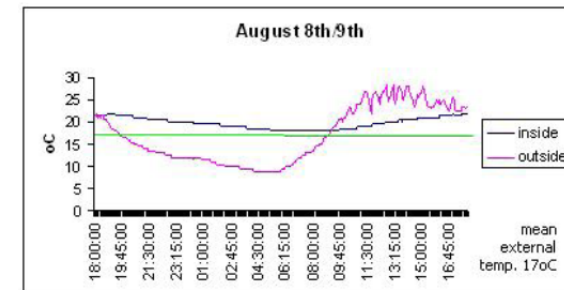
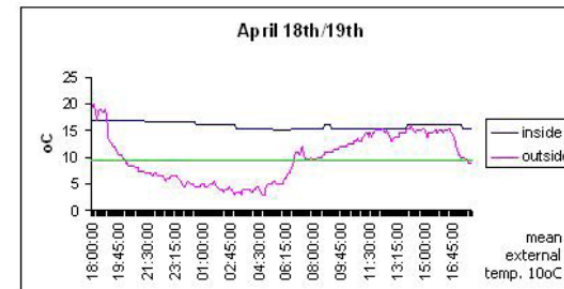
Die Temperaturverläufe wurden im unbeheizten Haus durch das ganze Jahr gemessen. Alle inneren Oberflächen wurden mit Lehm verputzt, der Bodenbelag besteht aus Holz, die Fenster haben eine Zweifachverglasung und keine Vorhänge, um den solaren Wärmeeindrang zu vermeiden.

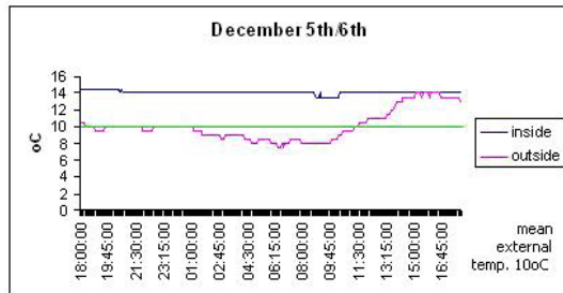
Die Messungen am 8. und 9. August 2007, bei Tagestemperaturschwankungen um 15°C, zeigten sehr niedrige Temperaturdifferenzen im Innenraum. Aus dem unteren Diagramm ist ersichtlich, dass die höchste Amplitude 5°C betrug.



blaue Linie = Temperaturverlauf innen, rosa Linie = Temperaturverlauf außen

Auch wenn man sich die Messungen in den anderen Monaten anschaut, kann man feststellen, dass das Haus, obwohl es eine Leichtbauweise ist, sehr niedrige Temperaturschwankungen im Vergleich zu der Außenluft aufwies.

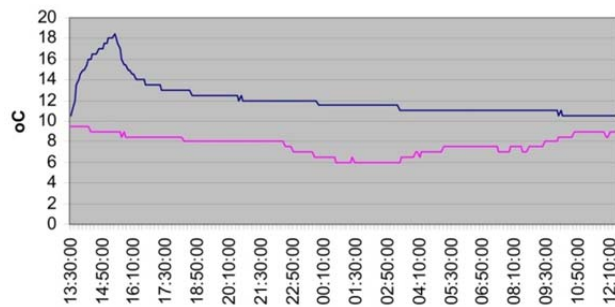




Attkinson gibt an, dass der zeitliche Schwankungsverlauf der Strohballenwand von Bruce King in Kalifornien gemessen wurde und 12 Stunden aufweist.

In Oak Ridge National Laboratory wurde der Wärmewiderstand einer verputzten Strohballenwand mit der Hot-Box-Methode (Wärmekammer) gemessen. Die Strohballenwand brauchte 2 Wochen um einen stabilen Zustand zu erreichen.

Die Straw Bale Cabin von Attkinson wurde im Januar zwei Stunden mit zwei elektrischen Heizkörpern (3.5kW) aufgeheizt. Die Temperatur erhöhte sich von 10.5°C auf 18.5°C und es dauerte 19 Stunden, bis die Temperatur in dem Haus wieder auf 10°C fiel (Fenster und Türen wurden in dieser Zeit zusätzlich gedämmt).



Blaue Linie = Temperaturverlauf Innen, Rosa Linie = Temperaturverlauf Außen

Obwohl die "Straw Bale Cabin" eine Leichtbauweise ist, verhält sie sich wie ein Massivgebäude.

Die Studie zeigte, dass der theoretische Ansatz über die Speicherwirkmasse und die darauf basierende Trennung zwischen Leichtbauweise und Massivbauweise, nicht immer zutreffend ist.

Attkinson konnte den wichtigsten Faktor, dem Strohballenwände ihre guten thermischen Eigenschaften verdanken, nicht definieren. Es könnte an der hohen, volumenbezogenen, spezifischen Wärmekapazität des Lehmputzes liegen ($d=2,5\text{cm}$, $c=1900\text{ kJ/m}^3\text{K}$), oder eine Folge des guten U-Wertes und Dicke der Wände sein. Auch der Kalkverputz an den Außenwänden könnte, angeblich durch seine gute Wärmespeicherkapazität, die Hitze Tagsüber in der Oberfläche speichern und sie in der Nacht wieder freisetzen und somit das Haus kühl halten. (Attkinson - 52-3)

5.3.3.7 Luftdichtheit

Eine verputzte Strohballenwand (Putz direkt auf das Stroh) weist eine sehr gute Luftdichtheit auf. Lehmputz hat einen sehr hohen Diffusionswiderstand (bei einer Dichte von 1700 kg/m^3 , $\mu=8-10$). Durch eine Riss-freie, 2-5cm dicke Lehmputzschicht und gute Anschlüsse bei Fenstern und Türen, entsteht eine gute Luftdichtheit des Hauses und wenn die Außenwände verputzt sind, auch eine ausgezeichnete Windsperre.

Ein Test der Luftdichtheit wurde auf der "Straw Bale Cabin" durchgeführt.

Der Luftwechsel ergab $1.56\text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$, was bezogen auf das Volumen des Hauses ca. 87m^3 , $n<0,5\text{h}^{-1}$ (eigene Berechnung) ergibt und somit den Passivstandard erreicht.

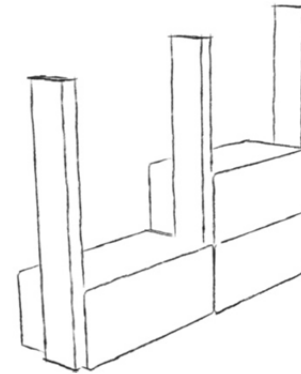
5.3.4 Das Unternehmen Naravna Gradnja

In diesem Kapitel werde ich kurz das Unternehmen Naravna Gradnja vorstellen, in dem ich mein praktisches Wissen über den Strohballenbau erworben habe. Auf diesem Wissen basieren auch die Details in dem Schnitt für die Ausrechnung von LCA (mehr darüber im Kapitel 6).

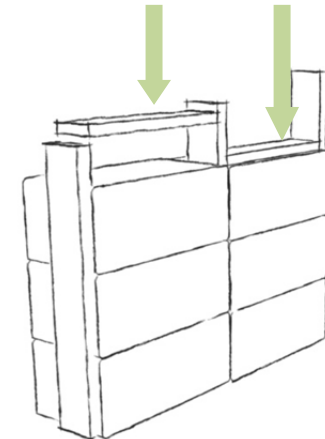
Das Unternehmen Naravna Gradnja (www.naravnagradnja.com), welches sich mit dem Bau von Strohballenhäusern beschäftigt und in dem ich auch selber aktiv bin, wurde 2009 gegründet. Ihr Gründer, Kristijan Zver, hat 2007 als Autodidakt angefangen, den Strohballenbau zu erforschen, als er sich selber ein solches Objekt erbaut hatte. Im Rahmen des Unternehmens erweiterte er sein technologisches Wissen durch Erforschung der Wärmeleitfähigkeiten von organischen Stoffen, durch die Analyse der Grenzwerte verschiedener Stoffe im Sand, Lehm und Stroh und auch durch Beratungen mit Bauingenieuren. Ziel des Unternehmens ist es, mit kleinstmöglichem ökologischem Abdruck ein modernes, organisches Haus zu bauen, dass die Bedürfnisse ihrer Bewohner auf bauphysikalischer und auch subtiler Ebene befriedigt.

Die ausgewählte Bautechnik ist eine Holzständerkonstruktion, die mit Strohballen ausgefüllt wird. Die Strohballen werden in jeder dritten Ebene mit Gurten fixiert und mit horizontalen Querdielen an die tragenden Säulen befestigt. Somit entsteht eine kompakte Wand die die Setzungen verhindert.

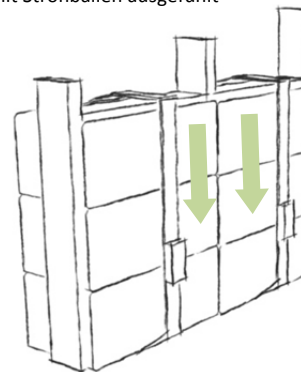
Das Konstruktionsprinzip einer Wand



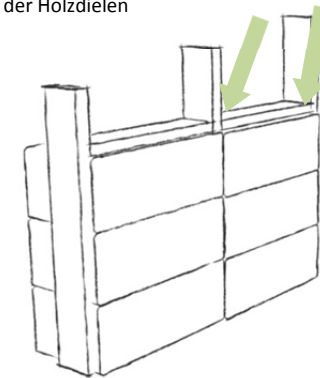
1) Die tragende Konstruktion wird mit Strohballen ausgefüllt



2) Nach drei Reihen erfolgt Positionierung der Holzdielen



3) Die Strohballen werden mit den Gurten gepresst



4) Die Dielen werden in den Pfosten verschraubt

Die Strohwände werden auf der Innenseite mit Grob-Lehmputz und Fein-Lehmputz verputzt. Auf die Außenseite wird nach dem Grob-Lehmputz noch ein wasserabweisender Kalkverputz aufgetragen.



Die Vision des Unternehmens ist es, regionalverfügbare, natürliche Baustoffe zu verwenden um somit die größeren Produktionsketten zu umgehen und dem Benutzer ein natürliches Haus, frei von jeglichen Folien, Gittern u.ä. anbieten zu können.

Referenzobjekte

- Projekt Čikečka vas

Standort: Naturpark Goricko (Prekmurje Region, Slowenien)

Anfang der Bauarbeiten: 2007

Fundamente: Punktfundamente aus Holz und Beton

Konstruktion: Holzkonstruktion

Dachdeckung: Gründach extensiv

Wandschnitt: Kalkputz, Lehmputz - grob, Strohballen, Lehmputz - grob,

Lehmputz-fein

Bodenplatte: Holz (Eiche, Kiefer)

Bodenisolation: Spelt, Kokos

Dachisolation: Strohballen

Heizung: gemauerter Ofen





○ Projekt Frankolovo

Standort: Frankolovo, Rakova steza (Steiermark, Slowenien)

Anfang der Bauarbeiten: 2011

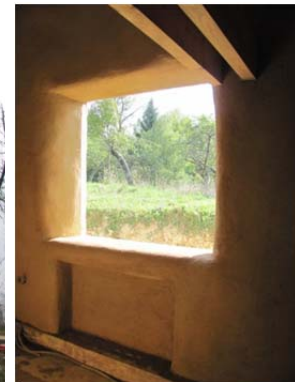
Fundamente: Streifenfundamente aus Beton

Konstruktion: Holzkonstruktion

Dachdeckung: Gründach extensiv

Wandschnitt: Kalkputz, Lehmputz - grob, Strohballen, Lehmputz - grob, Lehmputz-fein

Bodenplatte: Beton



○ Projekt Šulinci

Standort: Šulinci (Prekmurje Region, Slowenien)

Anfang der Bauarbeiten: 2011

Fundamente: Punktfundamente aus Holz und Beton

Konstruktion: Holzkonstruktion

Dachdeckung: geplant ist eine Teil extensive Begrünung , zu Teil hölzerne Beschichtung

Wandschnitt:

1) Kalkputz, Kalkputz - grob, Strohballen, Lehmputz - grob, Lehmputz-fein

2) durchlüftete Holzfassade, Kalkputz, Kalkputz - grob, Strohballen, Lehmputz - grob, Lehmputz fein

Bodenplatte: Holz (Kiefer)

Bodenisolation: Stroh gepresst

Dachisolation: Stroh gepresst

Heizung: gemauerter Ofen



6 Beschreibung des Forschungsvorhabens

In der Studie habe ich drei unterschiedliche Bauweisen verglichen. Ich beobachtete deren Auswirkung auf die Gebäudeaußenmassen, den Energieverbrauch bei der Herstellung der Baustoffe und deren allgemeine positive und negative Eigenschaften.

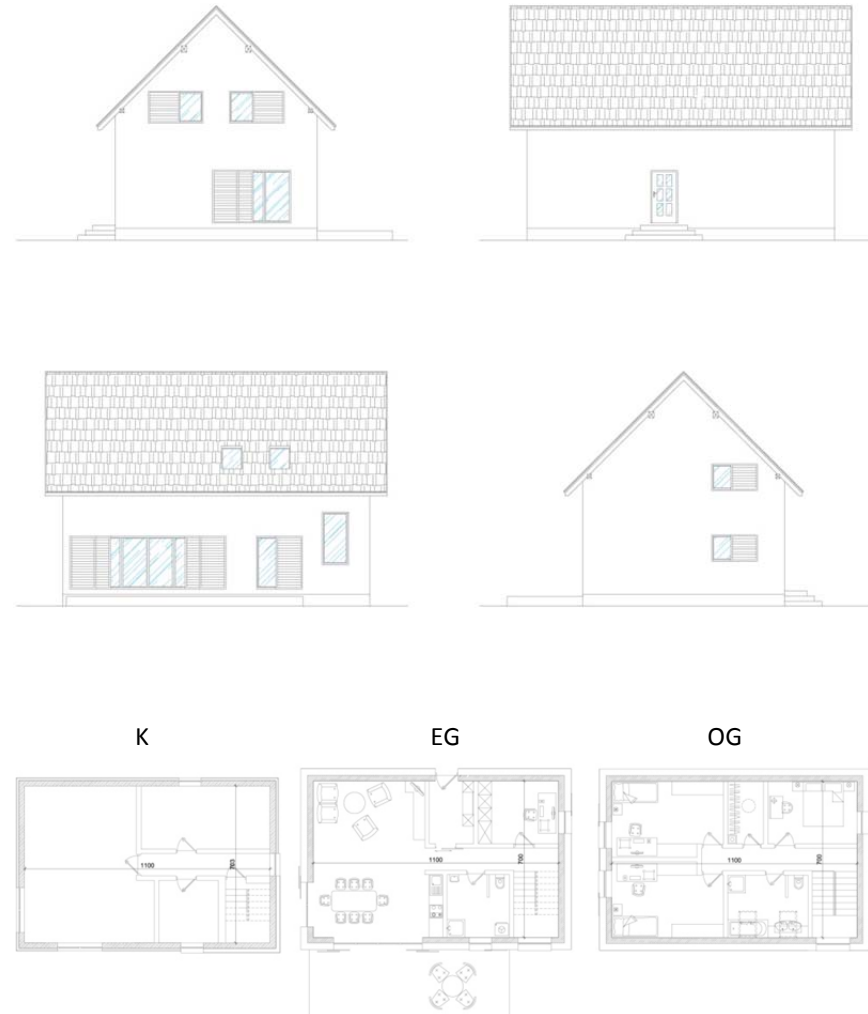
Die erste Bauweise ist die Standard Ziegelbauweise. Diese wird in Slowenien, trotz des jährlich wachsenden Angebotes der Holzbauweise für Einfamilienhäuser, noch immer meistverwendet. Die massive Bauweise aus Ziegelsteinen ist in Slowenien bekannt als „traditionelle Bauweise“ und ist durch ihren langjährigen Gebrauch in den Augen der Menschen, die Häuser für 3 Generationen bauen, ein Synonym für Langwierigkeit und massive Sicherheit.

Obwohl die Holzbauweise schon mehrere Jahre auf dem Markt ist, fingen die Menschen in Slowenien erst vor kurzem an, Interesse und Vertrauen in sie zu zeigen. Der größte Grund dafür liegt in dem steigenden Umweltbewusstsein und der Tendenz zum „gesunden Lebensstil“, welchen das Leben in einem Haus aus organischen Baustoffen ermöglicht. Bei der Holzbauweise werden meistens organische Baustoffe verwendet. Die Bauelemente sind öfters schon vorgefertigt und können auf der Baustelle schnell zusammengebaut werden. Die dritte ausgewählte Bauweise ist Strohballenbau, der in meinem Fall auch eine Holzrahmenbauweise ist. Jedoch behandle ich ihn aufgrund seiner Einzigartigkeit getrennt. Strohballenbau erscheint in Europa „schon“ vor etwa 30 Jahren, erreicht Slowenien aber erst vor 10 Jahren. Wegen seiner Unbekanntheit und Einfachheit weckt er bei den Menschen aber noch sehr viel Misstrauen. An dieser Bauweise ist interessant, dass die Baustoffe nachwachsend und meistens auch regional verfügbar sind.

6.1 Gebäudeform und die Auswirkungen

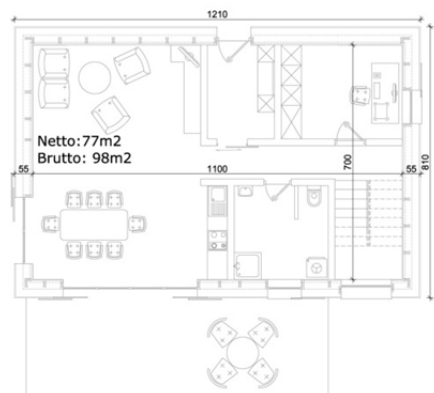
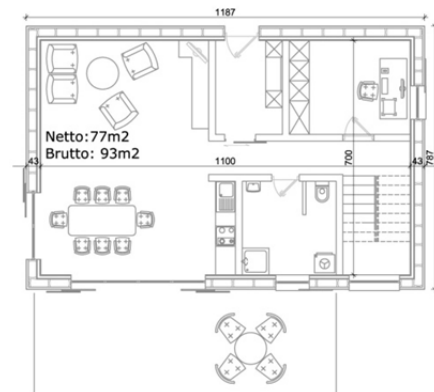
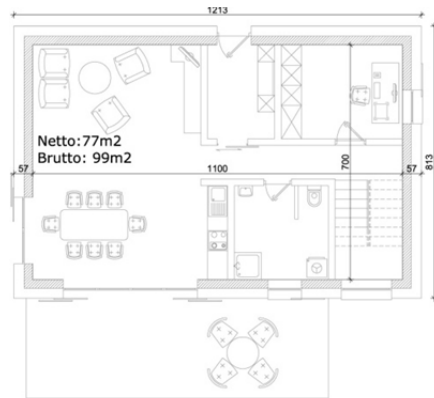
Nach einer Analyse der slowenischen Neubauten der letzten paar Jahre bestimmte ich die Kriterien, die die typische Form und Größe eines Einfamilienhauses darstellen, für das sich in den letzten Jahren eine durchschnittliche slowenische Familie entschied. Ich wählte ein viereckiges Objekt mit 145m^2 Netto Grundriss, einer Gesamtfläche von 154m^2 (ohne Raumteiler), 77m^2 Keller und einem Satteldach. Das Beispiel entspricht zwar nicht dem originellen Bauplan (daher lege ich diesen der Diplomarbeit nicht bei), da ich aufgrund des ausgewählten „Standards eines Passivbaus“ ein wenig die Orientierung und Größe der Öffnungen angepasst habe. Der Grundriss, die Höhe und Dachentwurf bleiben jedoch unverändert.

Die ausgewählte Gebäudeform habe ich mit den zuvor beschriebenen Bauweisen ausgeführt. In allen drei Beispielen bin ich aus dem gleichen Grundrissentwurf ausgegangen, so dass der Netto Grundriss und das brauchbare Raumvolumen immer gleich bleiben, es ändern sich nur die Außenmassen des Hauses und ihre Konstruktionsweise.



40

Ich habe die Bruttogeschosßfläche und das Bruttovolumen der jeweiligen Ausführung verglichen. Da die Nettogeschosßfläche aller drei Häuser gleich ist, können wir erkennen, wie die verschiedenen Bauweisen das Gebäudevolumen beeinflussen.



Aus den Grundrissen ist ersichtlich, dass bei gleicher Nettogrundrissfläche das Haus 2 die kleinste Bruttogeschoßfläche aufweist. Bei den Häusern 2 und 3 befinden sich die tragende Konstruktion und die Dämmung in einer Schicht. Im Vergleich dazu sind bei dem Haus 1 die tragende Konstruktion und die Dämmung getrennt. Somit entstehen zwei funktional getrennte Einheiten, was die Dicke der Wände vergrößert. Obwohl die Häuser 2 und 3 eine ähnliche tragende Konstruktion aufweisen, hat die Dämmung des Hauses 2 bessere Dämmeigenschaften und somit eine kleinere Wandstärke.

Die Brutto Größenunterschiede des Kellers und des Daches (Breite und Länge) waren so gering, dass ich sie vernachlässigt habe und die Ausmaßen bei allen Beispielen gleich behalten habe.

6.2. Darstellung der Konstruktion

In diesem Kapitel werde ich die Bauteile der Häuser vorstellen. Die Bauteile werden auf einem schematischen Schnitt markiert und in den Tabellen dargestellt. Die Bauteilaufbauten habe ich der Web-Plattform Baubook (www.baubook.at) entnommen und sie mit dem Baubook Rechner Programm verarbeitet. Mit diesem Programm können verschiedene Bauteile mit Baustoffen aus der online Datenbank erstellt werden. Die Bauteile auf dem Original-Layout sind im Anhang 1 gesammelt.

○ Bauphysikalische Richtlinien

Die Standards des Passivbaus bestimmen die derzeitigen Richtlinien der energetisch sparsamen Bauplanung und deshalb habe ich mich entschieden, diese Bauprinzipien bei der Wahl meiner Konstruktion und Kriterien des Wärmewiderstands zu beachten.

o Richtlinien des Passivhauses:

Passivhauskriterien:

Der Heizwärmebedarf liegt im Passivhaus unter 15 kWh/(m²a) (bezogen auf die Wohnfläche) - oder die Heizlast liegt unter 10 W/m²

Der Primärenergiebedarf überschreitet 120 kWh/(m²a) nicht.

Die Luftdichtheit erreicht mindestens n₅₀ = 0,6/h.

Die Übertemperaturhäufigkeit im Sommer sollte unter 10 % liegen.

http://www.passipedia.de/passipedia_de/grundlagen/was_ist_ein_passivhaus

Bauteil	Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert [W/m ² K]	Bewertetes Schalldämmmaß R _w [dB]	Bewerteter Standard- Trittschallpegel LnT _w [dB]
Außenwände	0,12	≥47	-
Geschoßdecken	-	≥58	≥48
Dächer	0,10	≥47	-
Kellerdecke (Keller unbeheizt)	0,15	≥58	-
Fenster	≤0,85	-	-

o Bauteileaufbau

Beim Bauteileaufbau habe ich mir mit dem IBO Bauteilkatalog und der Internetseite www.baubook.at/odea geholfen. In dem Katalog der Standardschnitte habe ich die typischen Wand- und Bodenschnitte, Dachplatten und Dachausführungen für den massiven Ziegelbau und die Holzriegelbauweise gefunden. Ein Beispiel der Isolierung mit Strohballen ist nur in einem Schnitt der Dachzusammensetzung angeführt.

Aufgrund der Vielzahl verschiedener Bauweisen mit Strohballen, nicht standardisierter Schnitte und aus eigener Neugier, habe ich die Konstruktion des Strohballenhauses so ausgeführt, wie wir sie in dem im Kapitel 5

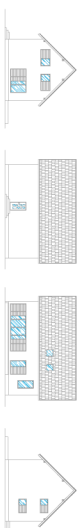
beschriebenen Unternehmen ausführen. Ich bestimmte die Schnitte nach den Prinzipien unseres natürlichen Zuganges zum Bau, d.h. dass ich das Haus mit einer größtmöglichen Prozentzahl natürlicher, nicht vorgefertigter Baustoffe gestaltet habe. Einige der Baueigenschaften der selbständig konstruierten Schnitte konnte ich aufgrund ihrer Unkonventionalität nicht technisch bewerten. Anstatt dessen habe ich diese anhand von Besprechungen mit verschiedenen Bauingenieuren, durch Erforschung traditioneller Konstruktionen und mit Hilfe eigener Forschungen auf dem Gebiet des Bauens mit nachwachsenden Rohstoffen festgelegt.

Die Häuser habe ich bezüglich ihrer Art der Bauweise benannt:

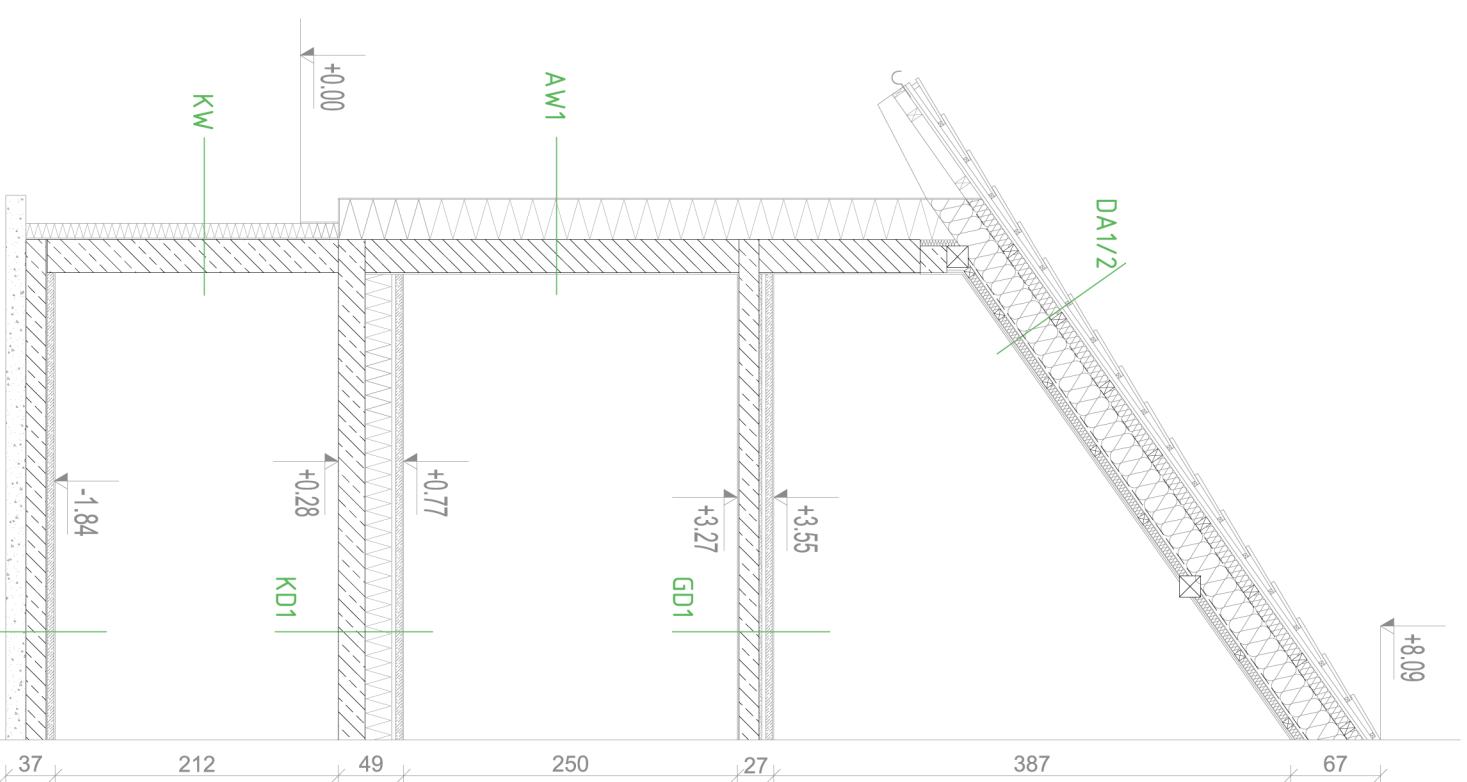
- o Haus 1 = Massivbau (mit EPS Dämmung)
- o Haus 2 = Holzriegelbauweise (mit Glaswollämmung)
- o Haus 3 = Strohballenbauweise

Diese Benennung werde ich in der Fortsetzung meiner Diplomarbeit und bei den Tabellen mit den Ausrechnungen verwenden.

o Schnitte >



HAUS 1



EFO	cm
1	- Fußbodenbelag
2	5 Zementestrich
3	0,4 Alu-Bitumendichtungsbahn
4	15 Stahlbeton
5	0,03 Baupapier
6	15 Sand/Kies
7	0,02 Vlies PP
d =	36,45 cm
U = /	

KW	cm
1	0,3 Gipsputzteil
2	25 Stahlbeton
3	0,78 PE Dichtungsbahn
4	0,24 Bitumenanstrich
5	10 XPS Wärmedämmung
6	1 Bitumierte Drainageplatte
d =	37,32 cm
U = /	

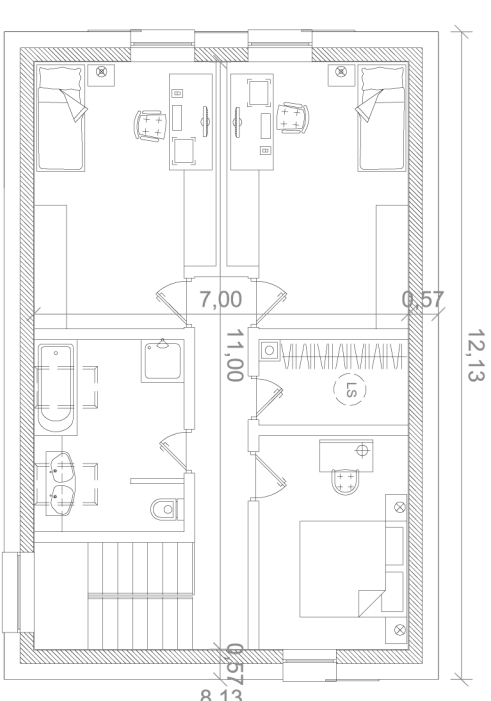
KD1	cm
1	- Fußbodenbelag
2	5 Zementestrich
3	0,02 Dampbremse PE
4	3 EPS Trittschalldämmung
5	20 EPS Wärmedämmung
6	20 Stahlbeton
d =	49,02 cm
U = 0,156 W/m ² K	

AW1	cm
1	1,5 Kalk-Zementputz
2	25 Hochlochziegel
3	30 EPS Wärmedämmung
4	0,19 Silikatputz
d =	56,69
U = 11,5 W/m ² K	

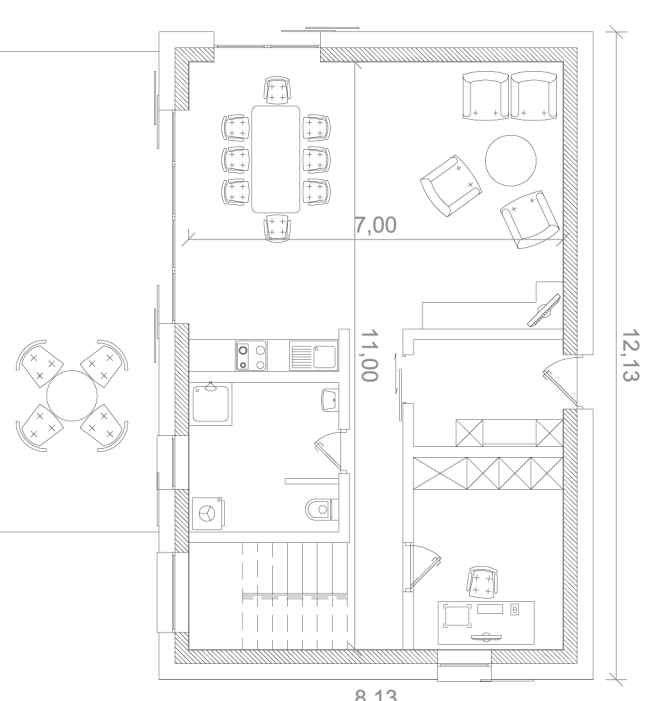
GD1	cm
1	- Fußbodenbelag
2	5 Zementestrich
3	0,02 PE folie
4	3 Glaswolle Trittschalldämmung
5	5 Splittschichtung
6	15 Stahlbeton
7	0,3 Gipsputzteil
d =	26,32 cm
U = /	

DA1/2	cm
1	3 Dachziegel
2	3 Lattung
3	3,5 Konterlattung
4	2,2 Holzfaserdämmplatte-Unterdach
5	10 Holzkonstruktion 6,23/10 zw.
6	24 Glaswolle Wärmedämmung
7	2,2 Spanplatte
8	0,02 Dampbremse PE
9	6 Holzkonstruktion 6,3/10 zw.
10	3 Glaswolle Wärmedämmung
d =	56,92 cm
U = 0,103 W/m ² K	

NETTOFLÄCHE: 154m²
 BRUTTOFLÄCHE: 197,32m²
 KELLER NF: 77,54m²
 KELLER BF: 94,21m²
 DACH: 163,17m²
 FENSTER: 24,88m²
 FENSTER D: 1,8m²

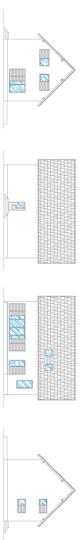


OG

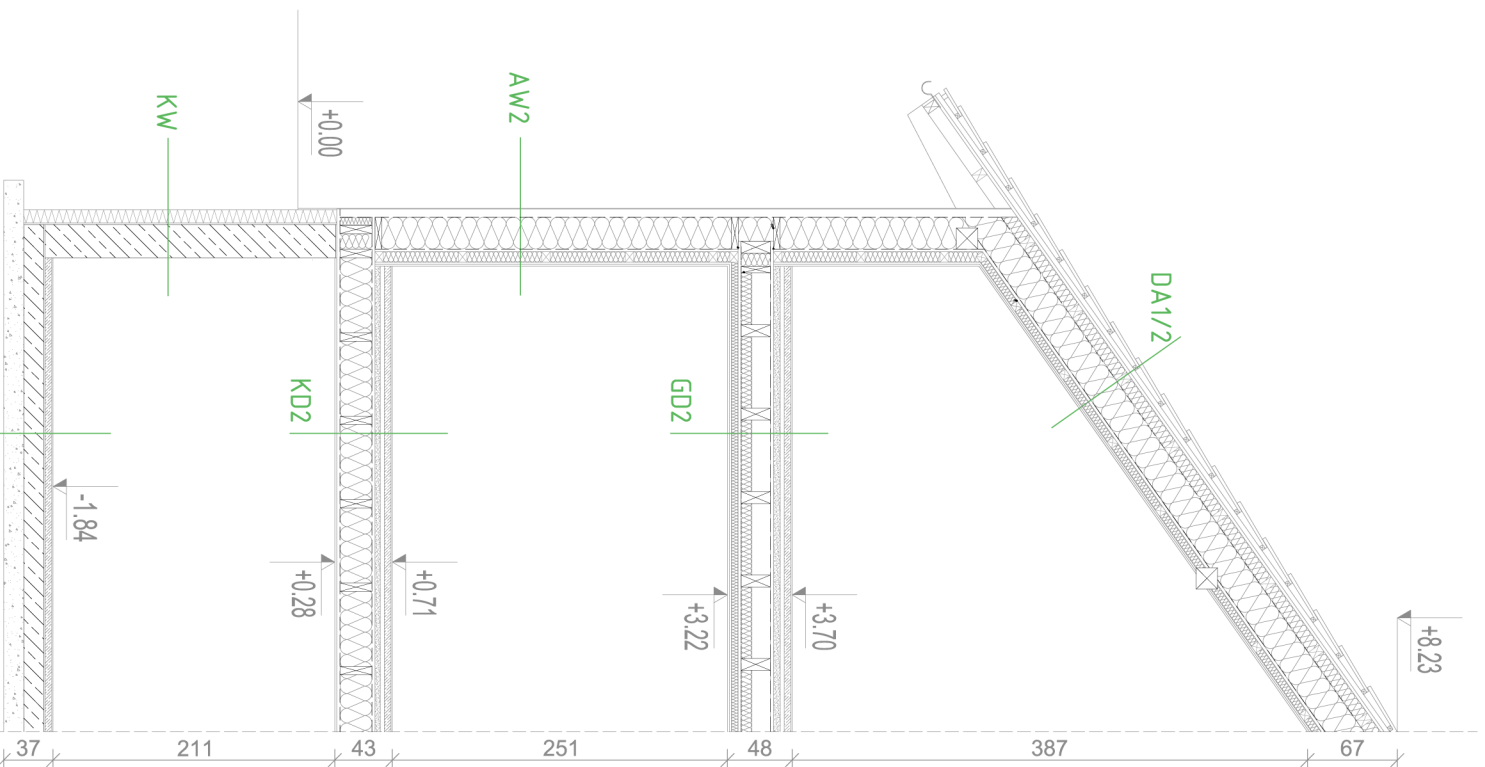


EG





HAUS 2



EFO	cm
1	- Fußbodenbelag
2	5 Zementestrich
3	0,4 Alu-Bitumendichtungsbahn
4	15 Stahlbeton
5	0,03 Baupapier
6	15 Sand/Kies
7	0,02 Vlies PP
d =	36,45 cm
U = /	

KW	cm
1	0,3 Gipsputz
2	25 Stahlbeton
3	0,78 PE Dichtungsbahn
4	0,24 Bitumenanstrich
5	10 XPS Wärmedämmung
6	1 Bitumierete Drainageplatte
d =	37,32 cm
U = /	

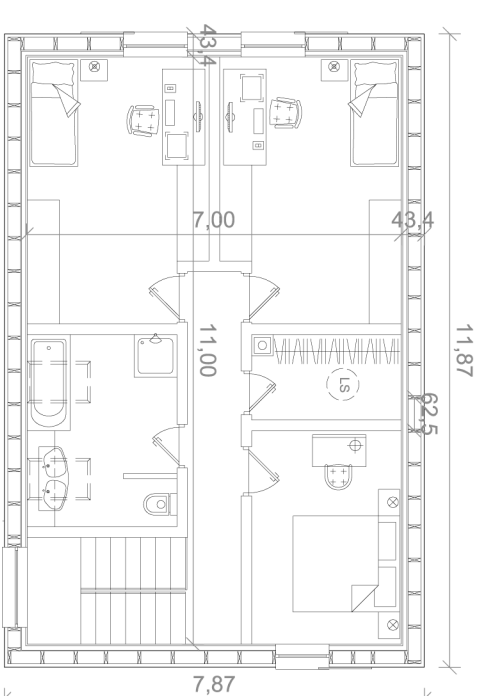
KD2	cm
1	- Fußbodenbelag
2	5 Zementestrich
3	0,02 Dampfbremse PE
4	3 Glaswolle Trittschalldämmung
5	4 Splittschüttung
6	0,02 Dampfbremse PE
7	2,2 OSB Platte
8	24 Holzbalken 6,3/24 zw.
9	2,4 Glaswolle Wärmedämmung
10	1,5 Holzbohrer
d =	43,14 cm
U =	0,145 W/m ² K

AW2	cm
1	3 Gipskartonplatte 2x
2	8 Holzkonstruktion 6,3/8 zw.
3	1,8 Glaswolle Wärmedämmung
4	24 OSB Platte
5	24 Holzpfosten 6,3/24 zw.
6	6 Glaswolle Wärmedämmung
d =	43,4
U =	11,4 W/m ² K

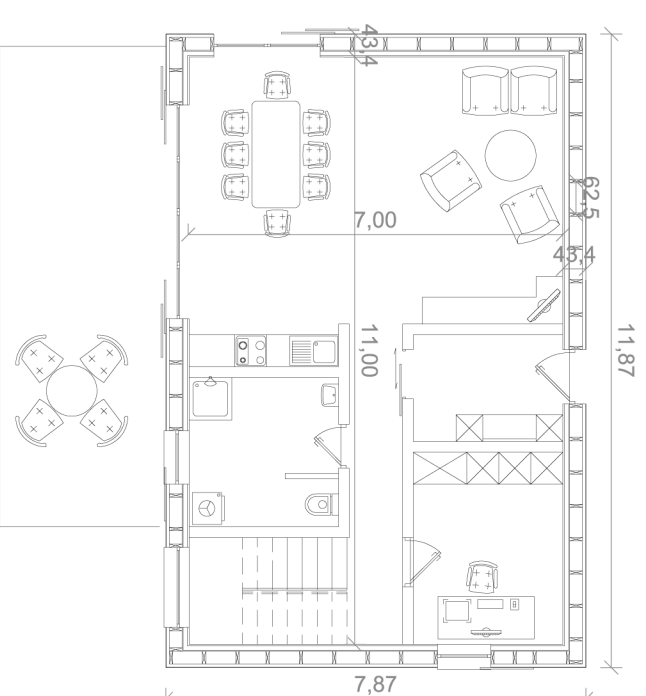
GD2	cm
1	- Fußbodenbelag
2	5 Zementestrich
3	0,02 PE folie
4	3 Glaswolle Trittschalldämmung
5	5 Splittschüttung
6	0,02 PE folie
7	2,2 OSB Platte
8	22 Holzbalken 9/22 zw.
9	2,2 8cm Glaswolle Hohlraumdämmung
10	5 OSB Platte
11	5 Schwingbügel 0,1/5 zw.
d	48,44 cm
U = /	

DA1/2	cm
1	3 Dachziegel
2	3 Lattung
3	3,5 Konterlattung
4	2,2 Holzfasserdämmplatte-Unterdach
5	10 Holzkonstruktion 6,23/10 zw.
6	24 Glaswolle Wärmedämmung
7	2,2 Holzsparren 6,25/24 zw.
8	2,2 Glaswolle Wärmedämmung
9	0,02 Spanplatte
10	6 Dampfbremse PE
11	6 Holzkonstruktion 6,3/10 zw.
12	3 Glaswolle Wärmedämmung
13	3 Gipskartonplatte 2x
d	56,92 cm
U =	0,103 W/m ² K

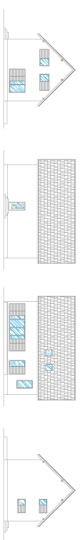
NETTOFLÄCHE:	154m ²
BRUTTOFLÄCHE:	186,74m ²
KELLER NF:	77,54m ²
KELLER BF:	94,21m ²
DACH:	163,17m ²
FENSTER:	24,88m ²
FENSTER D:	1,8m ²



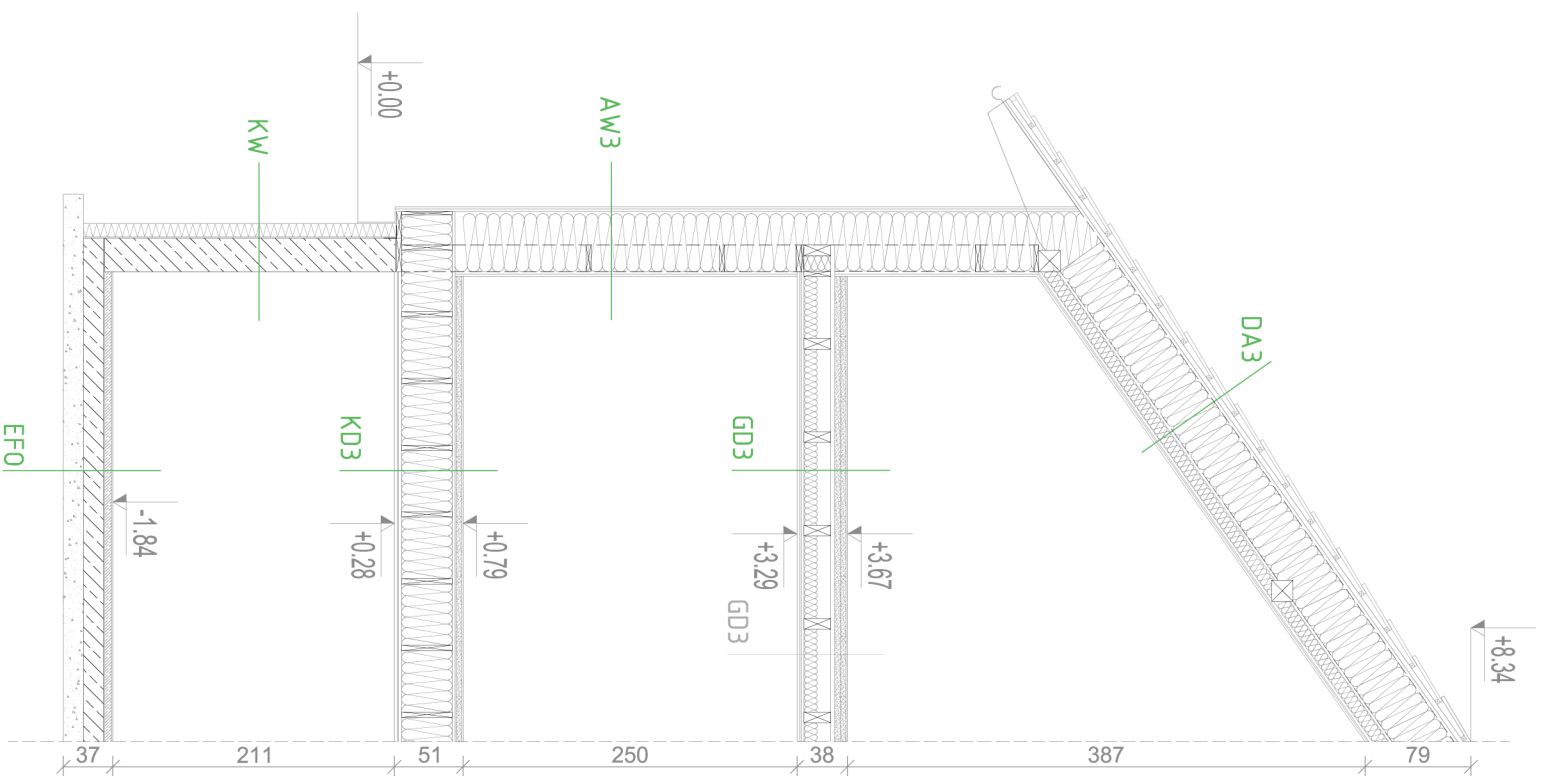
OG



EG



HAUS 3



EF0	cm
1	- Fußbodenbelag
2	5 Zementestrich
3	0,4 Alu-Bitumdichtungsbahn
4	15 Stahlbeton
5	0,03 Baupapier
6	15 Sand/Kies
7	0,02 Vlies PP
d =	36,45 cm
U = /	

KW	cm
1	0,3 Gipsputz
2	25 Stahlbeton
3	0,78 PE Dichtungsbahn
4	0,24 Bitumenanstrich
5	10 XPS Wärmedämmung
6	1 Bitumierte Drainageplatte
d =	37,32 cm
U = /	

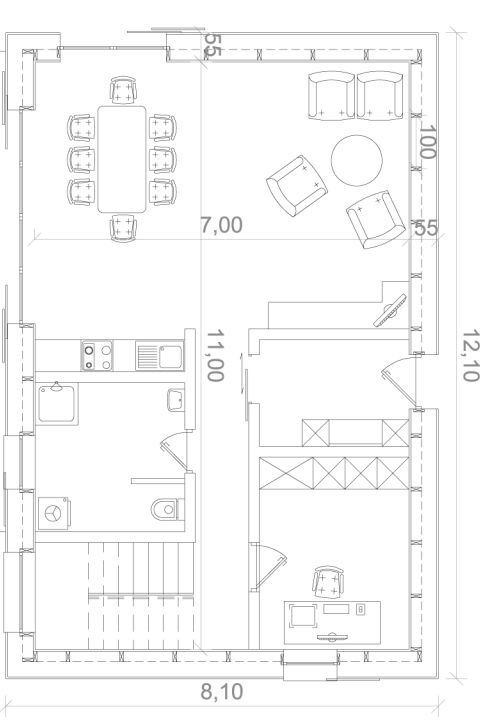
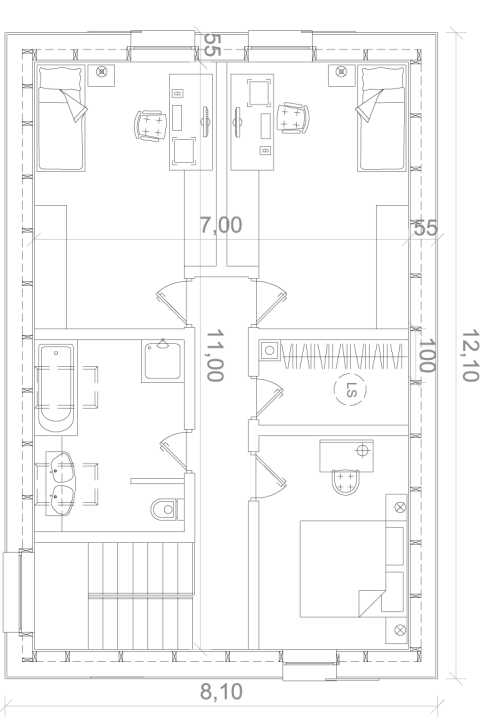
KD3	cm
1	- Fußbodenbelag
2	4 Lattung 4/4 zw.
3	0,02 Diffusionssoffene Schutzfolie
4	0,5 Schafwolle/Trittschalldämmung
5	0,024 ÖKO Dampfbremse
6	2 Holz Nut&Feder
7	38 Holzkonstruktion 6/38 zw.
8	2,4 Strohballen Wärmedämmung
9	1 Holzbretter
10	1 Schilf-Putzträger
d =	50,94 cm
U =	0,13 W/m ² K

AW3	cm
1	1,5 Lehmfeinputz
2	2 Lehmgrubputz
3	48 Holzpfosten 7/20 zw.
4	2 Lehmgrubputz
5	1,5 Lehmfeinputz
d =	55,00cm
U =	10,7 W/m ² K

Gd3	cm
1	- Fußbodenbelag
2	4 Lattung 4/4 zw.
3	4 4cm Splittschüttung
4	4 4cm Splittschüttung
5	0,02 Diffusionssoffene Schutzfolie
6	0,5 Schafwolle Trittschalldämmung
7	2 Holz Nut&Feder
8	20 Holzkonstruktion 8/20 zw.
9	2 Holz Bretter
10	1 Holz Bretter
d =	37,52cm
U = /	

DA3	cm
1	3 Dachziegel
2	3 Lattung
3	3,5 Konterlattung
4	2,2 Holzfaserdämmplatte-Unterdach
5	38 Holzsparspaaren 4/38 zw.
6	2 Strohballen Wärmedämmung
7	2 Holz Bretter
8	10 0,024 Dampfbremse ÖKO
9	2 Holz Bretter
10	1 Holz Bretter
11	1 Schilf-Putzträger
d =	66,24 cm
U =	0,103 W/m ² K

NETTOFLÄCHE:	154m ²
BRUTTOFLÄCHE:	196,02m ²
KELLER NF:	77,54m ²
KELLER BF:	94,21m ²
DACH:	163,17m ²
FENSTER:	24,88m ²
FENSTER D:	1,8m ²



6.3. Berechnungen

Zur leichten Ausrechnung des Energieeinsatzes, der für die Herstellung der verwendeten Baustoffe nötig ist, habe ich mehrere EXCEL Tabellen erstellt. Zunächst habe ich eine Liste aller Baustoffe erstellt, die in den Konstruktionen verwendet werden. Danach zeichnete ich alle drei Häuser und berechnete die Mengen jeder einzelnen Schicht, die in dem bestimmten Bauteilaufbau vorkommt. Basieren auf dem Endvolumen habe ich anschließend mit Hilfe der Indikatorwerte (GWP, PEI, AP) die Umweltauswirkungen des gesamten Hauses ausgerechnet.

Im Anschluss werde ich kurz die Methode vorstellen, mit Hilfe welcher ich zu den gewünschten Berechnungen gekommen bin. Zudem werde ich die Ergebnisse vorstellen und analysieren, die Zwischenwerte hingegen sind in den Anhängen 2 und 3 gesammelt.

6.3.1 Volumenermittlung

In den Ausrechnungen inbegriffen sind alle Konstruktions- und Isolationsoberflächen, Folien und finalen Oberflächen aller in dem letzten Kapitel dargestellten Bauteile. Ausgelassen habe ich die Bodenaufbauten. Wenn das ausgerechnete Volumen kleiner als 0,01m³ war, habe ich es vernachlässigt. Die Fläche wurde bei jedem Material, außer bei den Stützen u.ä. angegeben.

Somit wird z.B.:

1) die Fläche des Estrichs berechnet:

$$FE = BR \times LR \quad (\text{Raumbreite} \times \text{Raumlänge})$$

2) die Fläche der Bodendämmung zw. Holzkonstruktion:

$$F = (BR \times LR \times DD) - VH \quad ((\text{Raumbreite} \times \text{Raumlänge} \times \text{Dicke der Dämmung}) - \text{Volumen der Holzkonstruktion})$$

3) bei den Holzteilen wird immer nur das Volumen angegeben

4) die Holzbretter, Holzfaserdämmplatten, u.a. werden als Flächenelemente bewertet

Beispiel einer Tabelle - die weiteren Tabellen werden in dem Anhang 2 gesammelt.

AW 2	Dicke (m)	Fläche(m ²)	Volumen(m ³)
Gipskartonplatte 2x	0,0300	169,00	5,07
Holzkonstruktion zw. 6,25/8			1,72
Glasswolle	0,0800	169,30	13,55
OSB Platte	0,0180	153,91	2,77
Holzkonstruktion zw. 6,25/24			4,33
Glasswolle	0,2400	151,68	36,41
Holzfaserdämmplatte	0,0600	197,57	11,85
Silikatputz	0,0060	200,72	1,20
Summe			76,91

6.3.2 Vergleich der ökologischen Parameter

Mit Hilfe der ausgerechneten Volumen habe ich die Umweltindikatoren bestimmt, mit denen ich den Umwelteinfluss des konstruierten Hauses bewertet habe. Die ausgewählte Methode, Datenbank und Begriffe erkläre ich in dem Kapitel 3. Dort sind auch die exakten Beschreibungen der Wirkungsindikatoren zu finden. Jedoch setze ich unten zur Erinnerung wiederholt die Tabelle (Wirkungsindikatoren LCIA) aus dem Kapitel 3.2 ein, um eine besseren Überblick zu verschaffen.

Umweltkategorien	Indikator	Einheit
Beitrag zum Treibhauseffekt	Treibhauspotential	kg CO ₂ -Äquivalent
Beitrag zur Versauerung	Versäuerungspotential	kg SO ₂ -Äquivalent
Bedarf an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen	Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar	MJ

Die in der Datenbank angegebenen Indikatoren werden pro kg des Stoffes definiert. Ich habe das ermittelte Volumen mit der Dichte multipliziert und somit die Masse jeder Schicht ausgerechnet. Diese habe ich anschließend mit den PEI, AP, GWP Indikatoren multipliziert, um die Menge des Umwelteinflusses pro eingebaute Masse des Baumaterials zu errechnen.

Die Tabellen werden in dem Anhang 3 gesammelt.

6.3.3 Ergebnisse

Die Endergebnisse der Berechnungen habe ich in drei Tabellen zusammengefügt (Haus 1, Haus 2, Haus 3). Um eine bessere Übersicht zu verschaffen, habe ich die Ergebnisse für jeden einzelnen Bauteilaufbau angegeben (AW1, GD1, AW2, usw.) und summiert. Die den Bauweisen zugehörigen Bauteilberechnungen habe ich summiert und als "Summe A" angegeben. Den Keller habe ich getrennt behandelt und ihn der "Summe B" dazugerechnet. In der letzten Spalte habe ich die Summe B durch die Bruttogebäudefläche dividiert, um das Endergebnis in m² Bruttofläche darzustellen.

Einige Rohstoffe (z.B. Holz und Stroh) haben CO₂ Absorptionsfähigkeiten und werden in der GWP Spalte mit einer negativen Zahl bewertet. Sie wirken in ihrer Wachstumsphase als Klimaschützer und speichern das Kohlendioxid bis zu ihrem Abbau.

Die genauen Dicken der Bauteile und die Bauten befinden sich im Anhang 1, die Volumenbestimmungen im Anhang 2 und die Angaben der Umweltindikatoren jeder einzelnen Schicht im Anhang 3.

HAUS1	PEI (MJ)	AP (kgSO ₂ eq.)	GWP (kgCO ₂ eq.)
AW1	175120,86	32,581517	10374,29
DA 1/2	129885,36	30,987607	-4881,89
KD1	83148,45	19,396007	8197,37
GD1	47900,05	14,069199	5780,12
Summe 1	436054,72	97,034330	19469,90
EFO	65905,61	16,234770	6416,27
KW	119727,38	23,755058	8721,69
AA	71973,97	23,627137	-9988,43
Summe 2	693661,67	160,651295	24780,08
m2 NF	4504,30	1,043319	160,91

HAUS 3	PEI (MJ)	AP (kgSO ₂ eq.)	GWP (kgCO ₂ eq.)
AW3	29939,93	15,014721	-17438,43
DA3	63978,33	17,593654	-14200,19
KD3	19408,88	8,765888	-11611,95
GD3	25165,92	6,861168	-6561,58
Summe 1	138493,06	48,23543067	-49812,15
EFO	65905,61	16,234770	6416,27
KW	119727,38	23,755058	8721,69
AA	71973,97	23,627137	-9988,43
Summe 2	396100,01	111,8523955	-44550,76
m2 NF	2572,08	0,726314	-289,23

HAUS 2	PEI (MJ)	AP (kgSO ₂ eq.)	GWP (kgCO ₂ eq.)
AW2	122111,79	37,670669	-4682,82
DA1/2	129885,36	30,987607	-4881,89
KD2	61683,00	17,930639	-1998,91
GD2	59463,10	15,606270	-2342,89
Summe 1	373143,25	102,195185	-13906,51
EFO	65905,61	16,234770	6416,27
KW	119727,38	23,755058	8721,69
AA	71973,97	23,627137	-9988,43
Summe 2	630750,20	165,812149	-8591,17
m2 NF	4095,78	1,076702	-55,79

PEI

Das Haus 1, gebaut mit in einer Massivbauweise, hat ca. 694GJ grauer Energie benötigt. Für die Baustoffe des Hauses 2, ausgeführt in einer Holzriegelbauweise, wurden etwa 63GJ weniger, das ist 631GJ grauer Energie verbraucht. Bei dem Haus 3, dem Strohballenhaus, beträgt dieser Anteil 396GJ.

Bei den AW1 fällt der höchste Anteil auf die EPS Dämmung. EPS ist ein synthetischer Baustoff und die graue Energie ist trotz seiner geringeren Masse sehr hoch und Umweltbelastend. AW2 wird zwar aus organischen Baustoffen zusammengesetzt, jedoch benötigen viele von ihnen (Glaswolle, Holzfaserdämmplatte und andere) Herstellungsprozesse, die einen hohen Anteil der grauen Energie produzieren. Der Betrag bleibt durch eine 53GJ Differenz gegenüber zur AW1 relativ hoch. Der niedrigste Wert wurde bei der Wand AW3 ausgerechnet und beträgt 30GJ. Diese Wand wurde aus Holz, Stroh

und Lehm gebaut. Die Baustoffe verlangen sehr wenig Herstellungsenergie ab und sparen damit die nichterneuerbaren Ressourcen.

Das Dach der ersten zwei Häuser ist gleich, bei dem DA3 ändern sich die Schichten ab der Dämmung. Das Dach DA3 benötigt um mehr als 50% weniger Herstellungsenergie im Vergleich zu dem anderen Dachaufbau.

Bei den Decken KD und GD kommen die höchsten PEI Anteile wieder bei dem Haus 1 vor. Die Gründe dafür sind die Verwendung des XPS Dämmstoffes und die massiven Stahlbetondecken.

Da der Keller nicht beheizt ist, wird sehr wenig Dämmstoff eingebaut. Nachdem die Nettogeschoßfläche nur rund 77m² ausmacht und der Keller eine 2,12m Höhe aufweist, ist 120GJ Primärenergie eine sehr große Zahl.

AP

Das Versäureungspotential ist bei dem Haus 3 (Summe 1) mehr als einmal kleiner als bei den anderen zwei Häusern. Der Anteil des Versäuerungspotentials vergrößert sich mit dem wachsenden Volumen der synthetischen Materialien. Bei den massiven Bauteilen ist der Beitrag sehr niedrig. Die Umwelt, insbesondere das Wasser, wird durch Strohballenhäuser viel weniger verschmutzt.

GWP

Bei allen Bauten, wo Holz oder aus Holz geschaffene Baustoffe und Stroh als Dämmung eingesetzt werden, ist der Anteil des freigesetzten CO₂ negativ bzw. der Endbetrag durch Summierung der anderen Baustoffe sehr gering. Somit wirken beide Dachaufbauten mit mehr fast 5 Tonnen eingesparten CO₂ als Klimaschützer. Mit dem DA3 Dachaufbau wird sogar fast dreimal so viel Kohlendioxid eingespart. Bei dem Haus 3 haben alle oberirdische Bauteilaufbauten eine positive Auswirkung auf die Umwelt. Durch den Strohballenbau könnten somit 50, bzw. 45 Tonnen CO₂ wenn man den Keller

und den anderen Aufbauten dazu zählt, eingespart werden. Das Haus 2 würde ca. 14 Tonnen Kohlendioxid aus der Erdatmosphäre binden oder durch den Kellerausbau etwa 8,5 Tonnen CO₂ freisetzen. Bei der Massivbauweise wurde nur ein geringer Anteil nachwachsender Baustoffe eingebaut und mit mehr als 19 Tonnen, bzw. durch den Kellerausbau mit etwa 25 Tonnen freigelassenen CO₂, trägt diese Bauweise am meisten zu dem Treibhauseffekt bei.

Wenn ich z.B. die AW1 und AW3 vergleiche, entfällt der Anteil des freigelassenen CO₂ auf ca. 4,1 Tonnen für die Herstellung der EPS und ca. 5,5 Tonnen für Ziegel. Bei AW3 hatte nur Stroh ca. 13 Tonnen CO₂ gespeichert. Unter der Voraussetzung, dass wir Ziegel, wenn diese nicht mehr gebraucht werden bestmöglich weiterverwenden (zermahlen und zur Erdverdichtung benutzen) und das Stroh in die Erde einackern (welches bei seiner Zersetzung in etwa die gleiche Menge CO₂, ca. 13 Tonnen in die Atmosphäre freisetzt), ist der Anteil des CO₂ der gebrauchten Ziegel 5,5 Tonnen und der der Strohballen 0.

Prozentueller Vergleich der Ergebnisse der Häuser 2 und 3 mit dem Haus 1, bezogen auf Nettogröße des Gebäudes.

Ind.	HAUS 3 Indikator/ Nettogröße [m ²]	%	HAUS 1 Indikator/ Nettogröße [m ²]	%	HAUS 2 Indikator/ Nettogröße [m ²]
PEI	2572,08	-43	4504,30	-10	4095,78
AP	0,726314	-30	1,043319	+3	1,076702
GWP	-289,23	-180	160,91	-35	-55,79

- Die Feststellungen

- Der Ausbau eines Strohballenhauses ist energetisch effektiver als die derzeitigen konventionellen Bauweisen
- Die Leichtbauweise ist im Vergleich zu der Massivbauweise umweltfreundlicher
- Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen ist Umweltfreundlich und kann eine große Menge des CO₂ aus der Atmosphäre binden
- Die Verwendung organischer Baustoffe ist energetisch effektiver als das Bauen mit synthetischen Baustoffen, die Herstellungskette sollte aber möglichst kurz sein
- Der Kellerausbau hat einen großen Einfluss auf die Umwelt. Deshalb sollte man gut überlegen, ob man ihn wirklich braucht oder man die Technik- und Abstellräume oberirdisch in den Grundriss einschließen kann (Dachgeschoß, Gartenhütte)

- Wissenswertes

Mit der Menge der durch Strohballenbauweise ersparten Herstellungsenergie könnte man im Vergleich zum Massivbau:

- fast 5 Jahre der gesamten Primärenergie eines Passivhauses decken
- 36 Jahre Heizenergie eines Passivhauses decken
- noch ein Strohballenhaus in gleichen Abmessungen bauen

Mit der Strohballenbauweise spart man 1932 MJ/m² im Vergleich zur Ziegelbauweise, oder 1524 MJ/m² gegenüber der Holzriegelbauweise. In Zahlen heißt das 536,72 kWh/m²a bei dem ersten Beispiel und 423 kWh/m²a bei dem zweiten Haus.

Durchgerechneter Primärenergieverbrauch des geplanten Hauses ist ca. 137 kWh/m²a. Mit der ersparten Energiemenge (Haus 1 - Haus 3 = 536,72 kWh/m²a) könnte man fast 4 Jahre des gesamten Energieverbrauchs decken, bzw. 3 Jahre der mit der ersparten Energie des Haus 2.

Anders gesagt, wenn ein Haus den Passivhausstandard erreichen würde, würde es 15 kWh/m²a Heizenergie verbrauchen. Mit der Energie, die man durch den Bau mit der Strohballenbauweise sparen würde, könnte man den Heizenergiebedarf von 36 Jahren decken (oder 28 Jahre, Haus 2).

- Beurteilung der Bauweisen - Vorteile/Nachteile

	Haus 1	Haus 2	Haus 3
VORTEILE	<ul style="list-style-type: none"> 1) Baumasse kann zur Regulierung der Temperaturschwankungen genutzt werden 2) Bei Wänden mit Außendämmung ist die Vermeidung von Wärmebrücken relativ einfach 3) Schall- und Brandschutz unproblematisch 4) Die Baustoffe sind bekannt und leicht zugänglich 5) Menschen haben Vertrauen (konventionelle Baustoffe) 	<ul style="list-style-type: none"> 1) Schnelle Montage 2) Geringere Wandstärken bei hoher Dämmwirkung (größerer Raumgewinn) 3) Die Baustoffe sind bekannt und leicht zugänglich 	<ul style="list-style-type: none"> 1) Schnelle Montage 2) Niedrige Baumasse 3) Regulierung der Temperaturschwankungen 4) Gute Speicherwärmemasse 3) Nachwachsende Baustoffe 4) Regionalverfügbare Baustoffe (meistens) 5) Rückbau ist einfach 6) Baumaterial spart Transportwege 7) Die Oberflächen sind nicht elektrostatisch 8) Die Materialien haben Einfluss auf das Raumklima 9) Die Kosten sind vergleichbar zur konventioneller Bauweise 10) Natürliche Rohbaustoffe: Kein Einfluss auf die Gesundheit 11) Material ist leicht zugänglich – einfacher Bauprozess - wenige Schritte – regional bedingt 12) Der Bau erfolgt ohne Folien und andere synthetische Baustoffe 13) Das Haus "atmet"



NACHTEILE	<p>1) Längere Bauzeit im Vergleich zum Leichtbau (außer bei der Montage von Fertigteilen)</p> <p>2) Hohes Gewicht.</p> <p>3) Synthetische Chemikalien (Klebstoffe, Lösemittel,..) setzen gesundheitsgefährdende Inhaltsstoffe in die Luft frei</p>	<p>1) Schallschutz, Brandschutz und Speicherfähigkeit von Wärme sind problematisch (Lösung: Kompensation durch massive Decken) etc.</p> <p>2) Die Winddichtigkeit ist von großer Bedeutung</p> <p>3) Unter Umständen komplizierte Schichtenfolgen mit daraus resultierendem Potenzial für Ausführungsfehler</p> <p>3) Synthetische Chemikalien (Klebstoffe, Lösemittel,..) setzen gesundheitsgefährdende Inhaltsstoffe in die Luft frei</p>	<p>1) Spezifische Verarbeitung</p> <p>2) Die Menschen haben kein Vertrauen (unbekanntes Baumaterial)</p> <p>3) Die Bauweise "scheint" einfach zu sein – ist sie aber nicht - Unterschätzung</p> <p>5) Muss vor Feuchte geschützt werden (konstruktiv/wasserabweisende Oberfläche)</p> <p>6) Jede Strohballen ist anders (der Bau muss sehr genau ausgeführt sein)</p>
BAUPHYSIK	<p>1) Aufgrund der Speicherfähigkeit und des guten Schallschutzes bei konstruktiv richtigem Ausbau keine Probleme</p>	<p>1) Die thermische Speicherfähigkeit reduziert sich im Leichtbau auf eventuell vorhandene massive Decken und Fußböden</p> <p>2) Dampf- und Winddichtigkeit sind bei diesen Gebäuden durch eine sorgfältige Ausführung herzustellen</p>	<p>1) Aufgrund der Speicherfähigkeit und des guten Schallschutzes bei konstruktiv richtigem Ausbau keine Probleme</p> <p>2) Dampf- und Winddichtigkeit sind bei diesen Gebäuden durch eine sorgfältige Ausführung herzustellen</p>
RÜCKBAU	<p>1) Eine Rückführung in den Stoffkreislauf durch Vermeidung von Verbundmaterialien</p> <p>2) Herstellung und Rückbau der synthetischen Baustoffe ist sehr Umweltbelastend</p> <p>3) Der Anteil an der gesamten Herstellungsenergie ist hoch</p>	<p>1) Problemlos, wenn wie im Massivbau keine untrennbaren oder ökologisch bedenklichen Baustoffe verwendet werden.</p> <p>2) Viele Schichtenfolgen benötigen viele Hersteller</p>	<p>1) Einfach - Kompostierung</p>

7 Zusammenfassung

Ein wichtiger Schritt zur Minderung der Umweltverschmutzung ist die Förderung des energieeffizienten Bauens. Durch meine Forschungen habe ich festgestellt, dass das Bauen mit Strohballen im Vergleich zu den konventionellen Bauweisen einen großen Anteil an nichterneuerbaren Energieressourcen einspart und die Abgabe der schädlichen Gase in die Atmosphäre verringert.

Eine gut durchdachte Integration dieser Bauweise in eine Region kann ihre Entwicklung fördern und sie auf allen Ebenen positiv beeinflussen. Die Schritte von der Herstellung der Baustoffe bis zum Bau und auch Abbau des Objektes werden somit kürzer und auch weniger umständlich.

Durch Verbindung des Objektes mit natürlichen - qualitätsvollen und einfachen "Low Tech Systeme" (Heizöfen mit guter Ausbeute, Pflanzkläranlage, Sonnenkollektoren,...) könnte sogar eine komplette Unabhängigkeit des Objektes geschaffen werden.

Ich wage es zu behaupten, dass der Strohbau ein großes Potential in der Zukunft hat. Es wurde schon viel darüber gesprochen, geschrieben und bewiesen, jetzt ist es an der Zeit, den nächsten Schritt zu machen und unsere Taten zu ändern und somit zur Erhaltung unseres Planeten Gaja zu verhelfen.

Literaturverzeichnis

BÜCHER

- GRUBER, Astrid&Herbert/SANTLER, Helmuth: Neues Bauen mit Stroh, Staufen bei Freiburg 2008
- IBO: Passivhaus - Bauteilkatalog, Ökologisch bewertete Konstruktionen, Wien 2008
- PEHNT, Martin: Energieeffizienz, Ein Lehr- und Handbuch, Heidelberg 2010
- MINKE, Gernot: Building with Earth, Design and Technology of a Sustainable Architecture, Berlin 2006

INTERNET

- <http://www.energiwelt.net/faktor-energie.html>
- www.baubook.at
- www.eu-baustoffhandel.de, Stand 11.9.2012
- www.homatherm.com
- <http://www.wta.de/en/%C3%B6kologlossar/prim%C3%A4renergie>
- www.nachwachsenerohstoffe.de
- <http://www.zgs.gov.si/slo/gozdovi-slovenije/o-gozdovih-slovenije/gozdnatost-in-pestrost/index.html>
- <http://www.wta.de/en/%C3%B6kologlossar/prim%C3%A4renergie>
- <http://www.nawaro.com/cgi-bin/konstruktion.pl>
- <http://www.passiv.de/>
- <http://www.igpassivhaus.at/>
- <http://www.baubiologie.de/site/home.php>

BERICHTE

- ADENSAM, H. u.a.: Stroh Kompakt, Fabrik der Zukunft als regionales Produktionsnetzwerk auf Basis nachwachsender Rohstoffe anhand eines Pilotprojektes im Bereich Dämmstoffe, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 8/2005, Wien 2005
- ATKINSON, Carol: Energy Assessment of a Straw Bale Building, MSc Architecture: Advanced Environmental and Energy Studies, University of East London School of Computing and Technology Docklands Campus, London 2008
- BACON DRIVE, Roger: Life cycle assessment: Principles and practice by Scientific Applications International Corporation (SAIC), EPA/600/R-06/060 Reston 2006
- Gruppe Angepasste Technologie (GrAT) u.a.: Haus der Zukunft, Endbericht Wirtschaftsbezogene Grundlagenstudie, Wandaufbauten aus Nachwachsenden Rohstoffen, IBO . Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie, Wien 2001
- Gruppe Angepasste Technologie (GrAT) u.a. : Stroh-Cert, Zertifizierung, Logistik und Qualitätsmanagement für den Strohballenbau, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 36/2011 Wien 2011
- HUMAR, Miha / KRAIGHER, Hojka: trajnostna raba lesa v kontekstu sonaravnega gospodarjenja z gozdovi, Rational use of wood in the context of sustainable forest management, in: Kitek Kuzman, Manja: Ali bo les kot obnovljivi material postal gradbeni material 21. stoletja? s. 135 - 141, GDK: 832/833"20", Ljubljana 2009
- IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH: OI3-INDIKATOR Leitfaden zur Berechnung von Ökokennzahlen für Gebäude, Version 3.0 Wien 2011
- IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH: IBO-RICHTWERTE FÜR BAUMATERIALIEN, Wesentliche methodische Annahmen Wien 2009
- SPERZEL, Nicole: Energijsko učinkovite hiše iz lesa regionalnega izvora na območju Alp, CIPRA-International, Bretscha 2004

Bildverzeichnis

Abbildung 1:

http://www.google.si/imgres?um=1&hl=sl&sa=N&biw=1260&bih=698&tbnid=9uxJEA47NrOGdM:&imgrefurl=http://www.passiv.de/old/01_dph/St-dph/WasPH/WasPH_F.htm&docid=gh4xqK-t9AfpHM&imgurl=http://www.passiv.de/old/01_dph/St-dph/EKW.jpg&w=540&h=377&ei=BPp5UP-hEPT44QStIAI&zoom=1&iact=rc&dur=274&sig=115058884346949161003&page=1&tbnh=146&tbnw=210&start=0&ndsp=20&ved=1t:429,r:10,s:0,i:96&tx=92&ty=34

Abbildung 2,3,4

Eigene aufnahmen

Abbildung 5-6

Gruppe Angepasste Technologie (GrAT) u.a. : Stroh-Cert, Zertifizierung, Logistik und Qualitätsmanagement für den Strohballenbau, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 36/2011, Wien 2011 - S.,57-58

Abbildung 7 http://www.zgs.gov.si/fileadmin/zgs/main/img/CE/gozdovi_SLO/Karte/Gozdnatost_KO.jpg

Abbildung 8

http://www.baubiologie.at/asbn/tipp_strohballen.html

Abbildung 9,10,11

<http://www.unserstrohhaus.at/strohbau-international.html>

Abbildung 12: <http://www.atelierwernerschmidt.ch/de/bauten/strohhaus-braun-dubuisz>

Abbildung 13-16:

http://www.baubiologie.at/europe/denmark/brenderup_halmhus.html

Abb 17-18

<http://database.fasba.de/details.php?id=3>

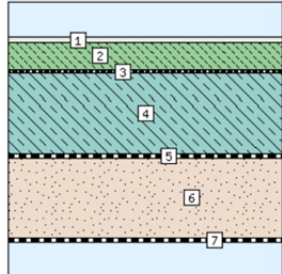
Anhang 1

12. 10. 2012
Alja Petric (P13151)



EFO

Boden: erdberührt - Wärmestrom nach unten



Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	Δ013 m ² K/W Pkt/m ²
1		Keramische Beläge	1.000	1.200	0,008	19
2		Zementestrich	5.000	1.700	0,029	9
3		Aluminium-Bitumendichtungsbahn	0.400	0,230	0,017	14
4		Stahlbeton	15.000	2.500	0,060	34
5		Baupapier	0,030	0,170	0,002	0
6		Sand, Kies jeweils lufttrocken	15.000	*	*	6
7		Vlies PP	0,020	0,220	0,001	1
			$R_s / R_{s0} =$		0,170 / 0,000	
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =		0,288 / 0,288	
Bauteil			36,450		0,288	82



Masse	754,7 kg/m ³
PEI n. e.	1.034,59 MJ/m ³
GWP100	90.7528 kg CO ₂ /m ³
AP	0,245354 kg SO ₂ /m ³

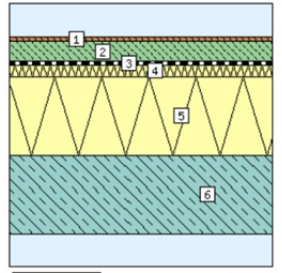
* nicht relevant für Ö3 BGD U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. A++-U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,15 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. RL6: Ö3 Richtlinie 6 (April 2007); in ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,40 W/m²K) für alle Neubauten sowie instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile.

13. 10. 2012
Alja Petric (P13151)



KD 1

Boden: gegen unbeheizte Gebäudeteile - Wärmestrom nach unten



Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	Δ013 m ² K/W Pkt/m ²
1		Massivparkett	1.000	0,150	0,067	10
2		Zementestrich	5.000	1.700	0,029	9
3		Dampfbremse PE (Polyethylenbahn, -folie (PE))	0,020	0,500	0,000	1
4		Polystyrol EPS Trittschalldämmplatte	3,000	0,044	0,682	3
5		Stahlbeton	20.000	2.500	0,080	45
6		Polystyrol EPS 20	20.000	0,038	5,263	24
			$R_s / R_{s0} =$		0,170 / 0,170	
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =		6,461 / 6,461	
Bauteil			49,020		6,461	91



Masse	592,0 kg/m ³
PEI n. e.	1.152,97 MJ/m ³
GWP100	98,4447 kg CO ₂ /m ³
AP	0,272368 kg SO ₂ /m ³

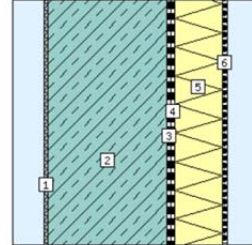
* nicht relevant für Ö3 BGD U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. A++-U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,20 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. RL6: Ö3 Richtlinie 6 (April 2007); in ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,40 W/m²K) für alle Neubauten sowie instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile.

12. 10. 2012
Alja Petric (P13151)



KW

Wand: erdberührt



Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	Δ013 m ² K/W Pkt/m ²
1		Spachtel - Gipsputz	0,300	0,800	0,004	1
2		Stahlbeton	25.000	2.500	0,100	56
3		Polymerbitumen-Dichtungsbahn	0,780	0,230	0,034	19
4		Bitumenanstrich	0,240	0,230	0,010	7
5		Polystyrol XPS, CO2-geschäumt	10.000	0,041	2,439	22
6		Bitumierte Drainageplatte	1,000	1,000	0,010	1
			$R_s / R_{s0} =$		0,130 / 0,000	
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =		2,727 / 2,727	
Bauteil			37,320		2,727	106



Masse	619,0 kg/m ³
PEI n. e.	1.455,48 MJ/m ³
GWP100	110,3045 kg CO ₂ /m ³
AP	0,294793 kg SO ₂ /m ³

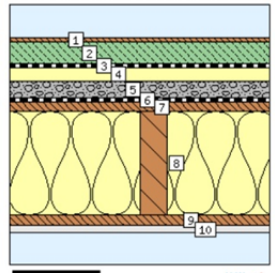
* U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. A++-U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,15 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. RL6: Ö3 Richtlinie 6 (April 2007); in ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,40 W/m²K) für alle Neubauten sowie instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile.

12. 10. 2012
Alja Petric (P13151)



KD 2

Boden: gegen unbeheizte Gebäudeteile - Wärmestrom nach unten



Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	Δ013 m ² K/W Pkt/m ²
1		Massivparkett	1.000	0,150	0,067	10
2		Zementestrich	5.000	1.700	0,029	9
3		Dampfbremse PE* (Dichtungsbahn Polyethylen (PE))	0,020	0,500	0,000	1
4		Glaswolle (roh > 40 kg/m ³)	3,000	0,040	0,750	8
5		Splittschüttung	4,000	0,700	0,057	1
6		Dampfbremse PE* (Dichtungsbahn Polyethylen (PE))	0,020	0,500	0,000	1
7		OSB-Platte	2,200	0,130	0,169	5
8		Inhomogen (Elemente längs)	24,000			
		50,3 cm (90%) Glaswolle (15 <= roh <= 25 kg/m ³)	24,000	0,039	6,154	22
		6,3 cm (10%) Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch	24,000	0,120	2,000	-1
9		Holz - Schnittholz Nadel, rau, lufttrocken	2,400	0,120	0,200	-1
10		Gipskartonplatte	1,500	0,210	0,071	4
			$R_s / R_{s0} =$		0,170 / 0,170	
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 1,9%) =		7,044 / 6,780	
Bauteil			43,140		6,912	58

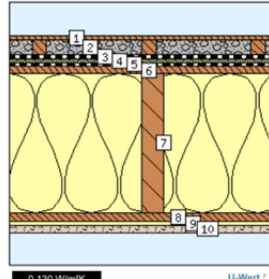


Masse	229,5 kg/m ³
PEI n. e.	849,77 MJ/m ³
GWP100	-20,4133 kg CO ₂ /m ³
AP	0,245935 kg SO ₂ /m ³

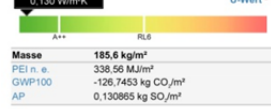
* nicht relevant für Ö3 BGD U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. A++-U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,20 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. RL6: Ö3 Richtlinie 6 (April 2007); in ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,40 W/m²K) für alle Neubauten sowie instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile.

KD 3

Boden: gegen unbeheizte Gebäudeteile - Wärmestrom nach unten



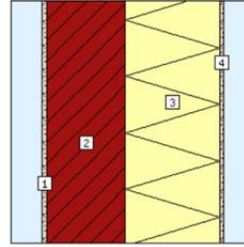
Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	ΔOI3 m ² KW Pk/m ²
1		Massivparkett	1,000	0,150	0,067	10
2		Inhomogen (Elemente längs)	4,000	0,700	0,057	1
		26 cm (87%) Splittschüttung	4,000	0,120	0,333	0
		4 cm (13%) Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch ge				
3		Diffusionsdichte Schutzfolie * (Dichtungsbahn Polyethyl)	0,020	0,500	0,000	1
4		Schafwolle Trittschalldämmung	0,500	0,035	0,143	1
5		ISOCELL OKO-NATUR Dampfbremse	0,024	0,170	0,001	0
6		Holzboden, Vollholz Nadel	2,000	0,120	0,167	1
7		Inhomogen (Elemente längs)	38,000			
		44 cm (88%) Strohballen u. -platten (jeweils gepresst), v				
		6 cm (12%) Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch ge				
8		Holz - Schnittholz Nadel, rau, lufttrocken	2,400	0,120	0,200	-1
9		Schilfplatte gepresst, Wärmefluss quer zur Halmrichtung	1,000	0,060	0,167	0
10		Lehmputz 1700 kg/m ³	2,000	0,810	0,025	1
			$R_s / R_e =$		0,170 / 0,170	
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 1.1%) =		7,748 / 7,584	
Bauteil			50,944		7,666	8



* nicht relevant für OI3 B0 U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. A++ U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,20 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. RLB: OIB Richtlinie 6 (April 2007), in ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,40 W/m²K) für alle Neubauten sowie Instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile.

AW1

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet



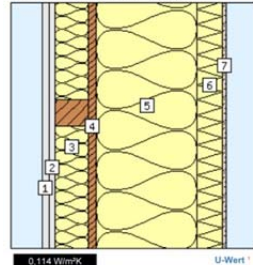
Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	ΔOI3 m ² KW Pk/m ²
1		Kalk-Zementputz	1,500	1,000	0,015	3
2		Ziegel - Hochlochziegel porosität <= 800kg/m ³	25,000	0,250	1,000	35
3		Polystyrol (EPS f. Wärmedämmverbundsysteme WDVS)	30,000	0,040	7,500	32
4		Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz) armiert	0,190	0,800	0,002	2
			$R_s / R_e =$		0,130 / 0,040	
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 0.0%) =		6,687 / 8,687	
Bauteil			56,690		6,687	72



U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. A++ U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,13 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. RLB: OIB Richtlinie 6 (April 2007), in ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,35 W/m²K) für alle Neubauten sowie Instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile.

AW 2

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet



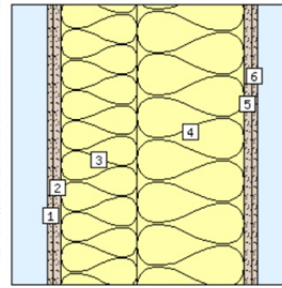
Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	ΔOI3 m ² KW Pk/m ²
1		Gipskartonplatte	1,500	0,210	0,071	4
2		Gipskartonplatte	1,500	0,210	0,071	4
3		Inhomogen (Elemente vertikal)	8,000			
		56,3 cm (90%) Glaswolle (15 < roh <= 25 kg/m ³)				
		6,3 cm (10%) Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch ge				
4		OSB-Platte	1,800	0,130	0,138	4
5		Inhomogen (Elemente horizontal)	24,000			
		56,3 cm (90%) Glaswolle (15 < roh <= 25 kg/m ³)				
		6,3 cm (10%) Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch ge				
6		Holzfaser-Dämmplatte (100 < roh <= 160 kg/m ³)	6,000	0,048	1,250	8
7		Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz) armiert	0,600	0,800	0,008	5
			$R_s / R_e =$		0,130 / 0,040	
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 3.3%) =		9,077 / 8,503	
Bauteil			43,400		8,790	53



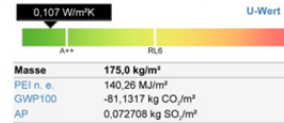
U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. A++ U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,13 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. RLB: OIB Richtlinie 6 (April 2007), in ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,35 W/m²K) für alle Neubauten sowie Instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile.

AW 3

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet



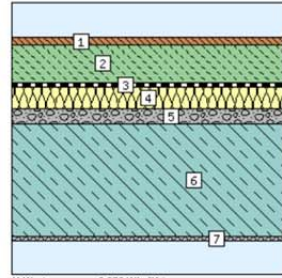
Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	ΔOI3 m ² KW Pk/m ²
1		Lehmfeinputz (Lehmputz 1700 kg/m ³)	1,500	0,810	0,019	1
2		Lehmgrobputz (Lehmputz 1700 kg/m ³)	2,000	0,810	0,025	1
3		Inhomogen (Elemente horizontal)	20,000			
		73 cm (91%) Strohballen u. -platten (jeweils gepresst), v				
		7 cm (9%) Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch ge				
4		Strohballen - Dämmung (Strohballen u. -platten (jeweils	28,000	0,051	5,490	-2
5		Lehmgrobputz (Lehmputz 1700 kg/m ³)	2,000	0,810	0,025	1
6		Kalputz mit Trassit (Baumit) (Baumit Sanova EinlagenTr	1,500	0,400	0,038	2
			$R_s / R_e =$		0,130 / 0,040	
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 0.9%) =		9,437 / 9,272	
Bauteil			55,000		9,354	1



U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946. A++ U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,13 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. RLB: OIB Richtlinie 6 (April 2007), in ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,35 W/m²K) für alle Neubauten sowie Instandgesetzte bzw. erneuerte Bauteile.

GD 1

Decke, Dach: Decke innerhalb von beheizten Wohn- und Betriebsinh. ohne U-Wert-Anforderung



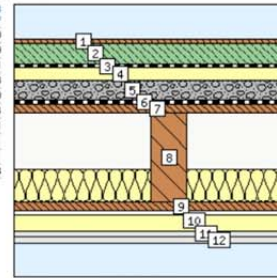
Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔO13 m³K/W Pkt/m²
1		Massivparkett	1,000	0,150	0,067	10
2		Zementestrich	5,000	1,700	0,029	9
3		Polyethylenbahn, - folie (PE) * (Dichtungsbahn Polyethy	0,020	0,500	0,000	1
4		Glaswolle (roh > 40 kg/m³)	3,000	0,040	0,750	8
5		Splittschüttung	2,000	0,700	0,029	0
6		Stahlbeton	15,000	2,500	0,060	34
7		Spachtel - Gipsspachtel	0,300	0,800	0,004	1
			$R_s / R_{s0} =$		0,100 / 0,100	
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =		1,139 / 1,139	
Bauteil			26,320		1,139	63

U-Wert: **0,878 W/m²K**
 Masse **505,6 kg/m²**
 PEI n. e. **706,89 MJ/m²**
 GWP100 **69,0611 kg CO₂/m²**
 AP **0,207103 kg SO₂/m²**

* nicht relevant für O13 B20 U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946

GD 2

Decke, Dach: Decke innerhalb von beheizten Wohn- und Betriebsinh. ohne U-Wert-Anforderung



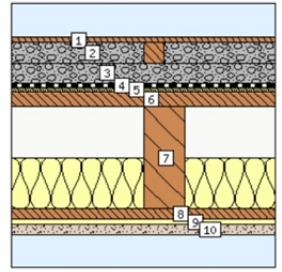
Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔO13 m³K/W Pkt/m²
1		Massivparkett	1,000	0,150	0,067	10
2		Zementestrich	5,000	1,700	0,029	9
3		Polyethylenbahn, - folie (PE) * (Dichtungsbahn Polyethy	0,020	0,500	0,000	1
4		Glaswolle (roh > 40 kg/m³)	3,000	0,040	0,750	8
5		Splittschüttung (leicht zementgebunden)	5,000	0,900	0,056	1
6		Polyethylenbahn, - folie (PE) * (Dichtungsbahn Polyethy	0,020	0,500	0,000	1
7		OSB-Platte	2,200	0,130	0,169	5
8		Inhomogen (Elemente längs bzw. normal zur Traufe)	22,000			
		53,5 cm (54%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach ot	14,000	0,875	0,160	0
		53,5 cm (31%) Glaswolle (15 < roh <= 25 kg/m³)	8,000	0,039	2,051	7
		9 cm (14%) Holz - Schnittholz Nadel, rauh, technisch ge	22,000	0,120	1,833	-1
9		OSB-Platte	2,200	0,130	0,169	5
10		Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)	5,000			
		62,4 cm (20%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach ot	1,000	0,071	0,141	0
		62,4 cm (80%) Glaswolle (15 < roh <= 25 kg/m³)	4,000	0,039	1,026	4
		0,1 cm (0%) Stahlblech, verzinkt	5,000	60,000	0,001	2
11		Gipskartonplatte	1,500	0,210	0,071	4
12		Gipskartonplatte	1,500	0,210	0,071	4
			$R_s / R_{s0} =$		0,100 / 0,100	
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 13,9%) =		4,901 / 3,702	
Bauteil			48,440		4,301	59

U-Wert: **0,232 W/m²K**
 Masse **266,6 kg/m²**
 PEI n. e. **912,42 MJ/m²**
 GWP100 **-23,6158 kg CO₂/m²**
 AP **0,245808 kg SO₂/m²**

* nicht relevant für O13 B20 U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946

GD 3

Decke, Dach: Decke gegen unbeheizte Gebäudeteile - Wärmestrom nach oben



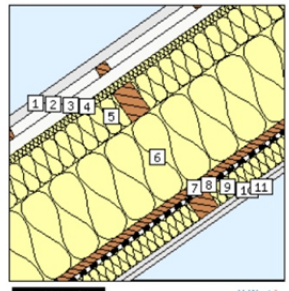
Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔO13 m³K/W Pkt/m²
1		Massivparkett	1,000	0,150	0,067	10
2		Inhomogen (Elemente längs bzw. normal zur Traufe)	4,000			
		41 cm (91%) Splittschüttung	4,000	0,700	0,057	1
		4 cm (9%) Holz - Schnittholz Nadel, rauh, technisch get	4,000	0,120	0,333	0
3		Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)	4,000			
		41 cm (91%) Splittschüttung	4,000	0,700	0,057	1
		4 cm (9%) Holz - Schnittholz Nadel, rauh, technisch get	4,000	0,120	0,333	0
4		Diffusionsoffene Schutzfolie * (Dichtungsbahn Polyethy	0,020	0,500	0,000	1
5		Schafwolle Trittschalldämmung	0,500	0,035	0,143	1
6		Holz NußFeder (Holzböden, Vollholz Nadel)	3,000	0,120	0,250	1
7		Inhomogen (Elemente längs bzw. normal zur Traufe)	20,000			
		62 cm (44%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach obe	10,000	0,625	0,160	0
		62 cm (44%) Strohballen u. -platten (jeweils gepresst), v	10,000	0,051	1,961	-1
		8 cm (11%) Holz - Schnittholz Nadel, rauh, technisch ge	20,000	0,120	1,667	-1
8		Holz - Schnittholz Nadel, rauh, technisch getrocknet	2,000	0,120	0,167	0
9		Schiffplatte gepresst, Wärmefluss quer zur Halmrichtung	1,000	0,060	0,167	0
10		Lehmputz 1700 kg/m³	2,000	0,810	0,025	1
			$R_s / R_{s0} =$		0,100 / 0,100	
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 3,6%) =		3,240 / 3,016	
Bauteil			37,520		3,128	12

U-Wert: **0,320 W/m²K**
 Masse **209,3 kg/m²**
 PEI n. e. **310,19 MJ/m²**
 GWP100 **-75,1491 kg CO₂/m²**
 AP **0,104464 kg SO₂/m²**

* nicht relevant für O13 B20 U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 A++ U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,12 W/m²K) sind notwendig, um denartige Gebäude zu erstellen. RLB: ÖIB Richtlinie 6 (April 2007). In ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,20 W/m²K) für alle Neubauten sowie instandgesetzte bzw. erneuerte Bauten.

DA 1/2

Decke, Dach, 35°: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - hinterlüftet - Wärmestrom nach oben



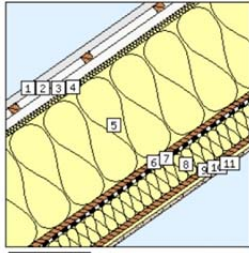
Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔO13 m³K/W Pkt/m²
1		Dachziegel Ton	3,000			15
2		Inhomogen (Elemente längs bzw. normal zur Traufe)	3,000			
		29,5 cm (89%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizon	3,000			0
		3,5 cm (11%) Holz - Schnittholz Nadel, rauh, technisch	3,000			0
3		Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)	3,500			
		59 cm (94%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach obe	3,500			0
		3,5 cm (6%) Holz - Schnittholz Nadel, rauh, technisch gr	3,500			0
4		Holzfaser-Dämmplatte, porös (240 < roh <= 270kg/m³)	2,200	0,060	0,367	11
5		Inhomogen (Elemente längs bzw. normal zur Traufe)	10,000			
		56,3 cm (90%) Glaswolle (15 < roh <= 25 kg/m³)	10,000	0,039	2,564	9
		6,3 cm (10%) Holz - Schnittholz Nadel, rauh, technisch	10,000	0,120	0,833	0
6		Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)	24,000			
		56,3 cm (90%) Glaswolle (15 < roh <= 25 kg/m³)	24,000	0,039	6,154	22
		6,3 cm (10%) Holz - Schnittholz Nadel, rauh, technisch	24,000	0,120	2,000	-1
7		Spanplatte V100	2,200	0,135	0,163	6
8		Dampfbremse PE (Polyethylenbahn, -folie (PE))	0,020	0,500	0,000	1
9		Inhomogen (Elemente längs bzw. normal zur Traufe)	6,000			
		56,3 cm (90%) Glaswolle (15 < roh <= 25 kg/m³)	6,000	0,039	1,538	5
		6,3 cm (10%) Holz - Schnittholz Nadel, rauh, technisch	6,000	0,120	0,500	0
10		Gipskartonplatte	1,500	0,210	0,071	4
11		Gipskartonplatte	1,500	0,210	0,071	4
			$R_s / R_{s0} =$		0,100 / 0,100	
			R' / R'' (max. relativer Fehler: 3,9%) =		10,119 / 9,365	
Bauteil			56,920		9,742	76

U-Wert: **0,103 W/m²K**
 Masse **130,5 kg/m²**
 PEI n. e. **1,096,04 MJ/m²**
 GWP100 **-12,4463 kg CO₂/m²**
 AP **0,311259 kg SO₂/m²**

* nicht relevant für O13 B20 U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 A++ U-Werte im Bereich der Markierung A++ (0,12 W/m²K) sind notwendig, um denartige Gebäude zu erstellen. RLB: ÖIB Richtlinie 6 (April 2007). In ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,20 W/m²K) für alle Neubauten sowie instandgesetzte bzw. erneuerte Bauten.

DA 3

Decke, Dach, 35°, Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - hinterlüftet - Wärmestrom nach oben



Masse	182,4 kg/m ²
PEI n. e.	489,77 MJ/m ²
GWP ¹⁰⁰	-125,3967 kg CO ₂ /m ²
AP	0,197483 kg SO ₂ /m ²

Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	R _s m ² K/W	ΔQ/D Psk/m ²
1		Dachziegel Ton	3,000	-	-	-	15
2		Inhomogen (Elemente längs bzw. normal zur Traufle)	3,000	-	-	-	0
		29,5 cm (99%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizon	3,000	-	-	-	0
		3,5 cm (11%) Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch ge	3,000	-	-	-	0
3		Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufle)	3,500	-	-	-	0
		59 cm (94%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben	3,500	-	-	-	0
		3,5 cm (6%) Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch ge	3,500	-	-	-	0
4		Holzfaser-Dämmplatte, porös (240 < rho <= 270kg/m ³)	2,200	0,060	0,367	11	
5		Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufle)	38,000	-	-	-	-
		46 cm (92%) Strohballen u. -platten (jeweils gepresst), V	38,000	0,051	7,451	-3	
		4 cm (9%) Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch ge	38,000	0,120	3,167	-1	
6		Holzbretter (Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch ge	2,000	0,120	0,167	0	
7		Dampfbremse (ISOCELL OKO-NATUR Dampfbremse)	0,024	0,170	0,001	0	
8		Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufle)	10,000	-	-	-	-
		56,5 cm (90%) Strohballen u. -platten (jeweils gepresst)	10,000	0,051	1,961	-1	
		6 cm (10%) Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch ge	10,000	0,120	0,833	0	
9		Holzbretter (Holz - Schnittholz Nadel, rau, technisch ge	2,000	0,120	0,167	0	
10		Schilf - Putzuntergrund (Schilfplatte gepresst, Wärmeflu	1,000	0,060	0,167	0	
11		Lehmfeinputz (Lehmputz 1700 kg/m ³)	1,500	0,810	0,019	1	
					R _s / R _e =	0,100 / 0,100	
					R' / R" (max. relativer Fehler: 1,3%) =	9,804 / 9,545	
Bauteil			66,224			9,675	22

* nicht relevant: U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖkZRM (EN ISO 6946). A++-U-Werte im Bereich der Markierung A++ (≤ 0,12 W/m²K) sind notwendig, um derartige Gebäude zu errichten. RL: ÖkZ Richtlinie 8 (April 2007), in ganz Österreich seit 1.1.08 verbindlich festgelegter max. U-Wert (0,20 W/m²K) für alle Neubauten sowie modernisierungs bzw. erneuerte Bauten.

Anhang 2

AW 1	Dicke (m)	Fläche(m2)	Volumen(m3)
Kalkzementputz	0,0150	147,04	2,21
Hochlochziegel porosiert	0,2500	149,40	37,35
Polystyrol (EPS WDVS)	0,3000	182,42	54,73
Silikatputz	0,0019	187,09	0,36
Summe			94,64
AW 2	Dicke (m)	Fläche(m2)	Volumen(m3)
Gipskartonplatte 2x	0,0300	169,00	5,07
Holzkonstruktion zw. 6,25/8			1,72
Glasswolle	0,0800	169,30	13,55
OSB Platte	0,0180	153,91	2,77
Holzkonstruktion zw. 6,25/24			4,33
Glasswolle	0,2400	151,68	36,41
Holzfasserdämmplatte	0,0600	197,57	11,85
Silikatputz	0,0060	200,72	1,20
Summe			76,91
AW 3	Dicke (m)	Fläche(m2)	Volumen(m3)
Lehmfeinputz	0,0150	144,58	2,17
Lehmgrobputz	0,0200	152,47	3,05
Strohballen zw.	0,4800	182,46	87,58
Holz Pfosten 7/20			3,33
Holz Dielen Horizontal 20/5			2,57
Lehmgrobputz	0,0200	206,18	4,12
Kalkputz	0,0150	206,89	3,10
Summe			105,92

DA 1/2	Dicke (m)	Fläche(m2)	Volumen(m3)
Dachziegel Ton	0,0300	160,41	4,81
Latten 3,5/3	0,0300		0,54
Konterlatten 3,5/3,5	0,0350		0,33
Holzfasserdämmplatte	0,0220	160,41	3,53
Glasswolle zw.	0,1000	103,73	10,37
Holzkonstruktion 6,25/10			1,36
Glasswolle zw.	0,2400	96,92	23,26
Holzkonstruktion 6,25/24			3,98
Spannplatte	0,0220	102,04	2,24
Dampfbremse PE	0,0002	102,04	0,02
Glasswolle zw.	0,0600	80,57	4,83
Holzkonstruktion 6,25/6			0,66
Gipskartonplatte 2x	0,0300	89,67	2,69
Summe			58,63

DA 3	Dicke (m)	Fläche(m2)	Volumen(m3)
Dachziegel Ton	0,0300	160,41	4,81
Latten 3,5/3	0,0300		0,54
Konterlatten 3,5/3,5	0,0350		0,33
Holzfasserdämplatte	0,0220	160,41	3,53
Strohballen zw.	0,3800	97,33	36,99
Holzunterkonstruktion 4/38			2,47
Holzbretter	0,0200	90,45	1,81
Dampfbremse Öko	0,0002	90,45	0,02
Stroh-gepresst zw.	0,1000	81,14	8,11
Holzkonstruktion 6/10			0,93
Holzbretter	0,0240	89,67	2,15
Schilf	0,0100	89,67	0,90
Lehmputz	0,0200	89,67	1,79
Summe			64,39

KD 1	Dicke (m)	Fläche(m2)	Volumen(m3)
Zementestrich	0,0500	77,00	3,85
Dampfbremse PE	0,0002	77,00	0,02
Polystyrol EPS Trittschalldämmplatte	0,0300	77,00	2,31
Polystyrol EPS 20	0,2000	77,00	15,40
Stahlbeton	0,2000	86,82	17,36
Summe			38,94

KD 2	Dicke (m)	Fläche(m2)	Volumen(m3)
Zementestrich	0,0500	77,00	3,85
Polyethylenbahn, - folie (PE)	0,0002	77,00	0,02
Glasswolle	0,0300	77,00	2,31
Spittschüttung	0,0400	77,00	3,08
Dampfbremse PE	0,0002	77,00	0,02
OSB Platte	0,0220	88,09	1,94
Holzbalken 6,3/24 zw.			2,12
Glasswolle	0,2400	79,30	19,03
Holzbretter	0,0240	88,09	2,11
Gipskartonplatte	0,0150	86,25	1,29
Summe			35,77
KD 3	Dicke (m)	Fläche(m2)	Volumen(m3)
Holz Latten 4/4 zw			0,41
Spittschüttung	0,0400	66,75	2,67
Schutzfolie Diffusionsoffen	0,0002	77,00	0,02
Schafwolle Trittschalldämmung	0,0050	77,00	0,39
Dampfbremse Öko	0,0002	77,00	0,02
Holz (Nut&Feder)	0,0200	95,40	1,91
Holzbalken 6/38 zw.			4,32
Strohballen	0,3800	84,04	31,94
Holzbretter	0,0240	78,26	1,88
Schilf-Putzuntergrund	0,0100	78,26	0,78
Lehmputz	0,0200	78,26	1,57
Summe			45,88

GD 1	Dicke (cm)	Fläche(m2)	Volumen(m3)
Zementestrich	0,0500	77,00	3,85
Polyethylenbahn, - folie (PE)	0,0002	77,00	0,02
Glasswolle	0,0300	77,00	2,31
Spittschüttung	0,0200	77,00	1,54
Stahlbeton	0,1500	86,82	13,02
Gipsspachtel	0,0030	77,00	0,23
Summe			20,97

GD 2	Dicke (m)	Fläche(m2)	Volumen(m3)
Zementestrich	0,0500	77,00	3,85
Polyethylenbahn, - folie (PE)	0,0002	77,00	0,02
Glasswolle	0,0300	77,00	2,31
Spittschüttung	0,0500	77,00	3,85
Schutzfolie Diffusionsoffen	0,0002	77,00	0,02
OSB Platte	0,0220	82,73	1,82
Holzbalken 9/22 zw.			2,60
Glasswolle 8cm	0,0800	55,58	4,45
OSB Platte	0,0220	82,73	1,82
Glasswolle 4cm zw.	0,0400	79,90	3,20
Schwingbügel 0,1/5			/
Gipskartonplatte 2x	0,0300	77,00	2,31
Summe			26,23

GD 3	Dicke (m)	Fläche(m2)	Volumen(m3)
Holz Latten 4/4 zw.			0,41
Spittschüttung	0,0400	66,75	2,67
Holz Konterlatten 4/4 zw.			0,41
Spittschüttung	0,0400	66,75	2,67
Schutzfolie Diffusionsoffen	0,0002	77,00	0,02
Schafwolle Trittschalldämmung	0,0050	77,00	0,39
Holz (Nut&Feder)	0,0300	95,40	2,86
Holzbalken 8/20 zw.	0,2000		2,09
Stroh gepresst	0,1000	83,84	8,38
Holzbretter	0,0200	83,84	1,68
Schilf -Putzuntergrund	0,0100	77,00	0,77
Lehmputz	0,0200	77,00	1,54
Summe			23,89

EFO	Dicke (m)	Fläche(m2)	Volumen(m3)
Zementestrich	0,0500	77,54	3,88
Aluminium-Bitumenabdichtungsbahn	0,0040	86,82	0,35
Stahlbeton-Plattenfundament	0,1500	86,82	13,02
Baupapier	0,0003	86,82	0,03
Sand, Kies	0,1500	86,82	13,02
Vlies PP	0,0002	86,82	0,02
Summe			30,31

KW	Dicke (m)	Fläche(m2)	Volumen(m3)
Gipsspachtel	0,0030	74,62	0,22
Stahlbeton	0,2500	77,05	19,26
Polymerbitumen-Dichtungsbahn	0,0078	85,89	0,67
Bitumenanstrich	0,0024	86,03	0,21
Polystyrol XPS	0,1000	86,82	8,62
Drainplatte	0,0100	78,53	0,79
Summe			29,77

Andere Aufbauten	Dicke (m)	Fläche(m2)	Volumen(m3)
Stahlbetontreppe		5,35	7,36
Holztreppe		5,90	2,10
Holzlagen Dach 16/16			1,36
Summe	0,0000		10,81

Fensteranteil	Fläche (m2)
S	13,000
O	2,000
W	10,880
N	0,000
Summe	24,880
D	1,800

Wohnfläche m2	HAUS 1	HAUS2	HAUS3
BRUTTO	197,32	186,74	196,02
NETTO	154,00	154,00	154,00
KELLER			
BRUTTO	94,21	94,21	94,21
NETTO	77,54	77,54	77,54
EG=OG			
BRUTTO	98,66	93,37	98,01
NETTO	77,00	77,00	77,00
DACH	163,17	163,17	163,17

	Haus1	Haus2	Haus3
A [m2]			
DACH	120,81	113,33	117,51
WÄNDE	207,42	220,20	226,35
BODENPLATTE	98,67	88,55	96,24
SUMME A	426,903	422,083	440,098
Ve [m3]	415,59	431,53	424,38
A/Ve [1/m]	1,02	0,97	1,037
Fensteranteil [f]	0,066	0,065	0,063
AN=0,32Ve	132,98	138,08	135,8
Qp kWh/(m²a)	137,38	137,15	137,25
Ht W/(m²K)	0,45	0,45	0,45

Anhang3

AW1	Volumen (m3)	Dichte (kg/m3)	Masse (kg)	PEI (MJ/kg)	PEI (MJ)	AP (kgSO2eq./kg)	AP (kgSO2eq.)	GWP (kgCO2eq./kg)	GWP (kgCO2eq.)
Kalkzementputz	2,21	1800	3970,80	1,36	5416,73	0,000359	1,425517	0,155	615,962
Hochlochziegel porosiert	37,35	800	29880,00	2,30	68625,07	0,000514	15,358320	0,182	5436,546
Polystyrol (EPS WDVS)	54,73	18	985,07	98,90	97418,81	0,014900	14,677513	4,169	4106,960
Silikatputz	0,36	1800	639,00	5,73	3660,25	0,001753	1,120167	0,336	214,820
total	94,64		35474,87		175120,86		32,581517		10374,289

AW2	Volumen (m3)	Dichte (kg/m3)	Masse (kg)	PEI (MJ/kg)	PEI (MJ)	AP (kgSO2eq./kg)	AP (kgSO2eq.)	GWP (kgCO2eq./kg)	GWP (kgCO2eq.)
Gipskartonplatte 2x	5,07	850	4309,50	0,42	1804,37	0,000110	0,474045	-0,003	-14,566
Holzkonstruktion zw. 6,25/5	1,72	500	860,00	2,77	2380,07	0,001038	0,892680	-1,650	-1418,777
Glasswolle	13,55	25	338,85	46,25	15671,47	0,015317	5,190165	2,454	831,453
OSB Platte	2,77	610	1689,70	8,56	14458,04	0,002096	3,541611	-1,151	-1945,570
Holzkonstruktion zw. 6,25/24	4,33	500	2165,00	2,77	5991,69	0,001038	2,247270	-1,650	-3571,689
Glasswolle	36,40	25	910,05	46,25	42088,90	0,015317	13,939236	2,454	2233,035
Holzfasserdämmplatte	11,85	160	1896,64	14,40	27303,33	0,004000	7,586560	-0,804	-1525,282
Silikatputz	1,20	1800	2167,20	5,73	12413,91	0,001753	3,799102	0,336	728,571
total	76,90		14336,94		122111,79		37,670669		-4682,824

AW3	Volumen (m3)	Dichte (kg/m3)	Masse (kg)	PEI (MJ/kg)	PEI (MJ)	AP (kgSO2eq./kg)	AP (kgSO2eq.)	GWP (kgCO2eq./kg)	GWP (kgCO2eq.)
Lehmfeinputz	2,17	1700	3687,30	0,42	1543,86	0,000110	0,405603	-0,003	-12,463
Lehmgrobputz	3,05	1700	5183,30	0,42	2170,23	0,000110	0,570163	-0,003	-15,550
Strohballen zw	87,58	120	10509,60	0,80	8420,33	0,000852	8,954179	-1,246	-13092,586
Vertikalen Pfosten 16/16	3,33	500	1665,00	2,77	4607,93	0,001038	1,728270	-1,650	-2746,819
Dielen Horizontal 20/5	2,57	500	1284,00	2,77	3553,50	0,001038	1,332792	-1,650	-2118,267
Lehmgrobputz	4,12	1700	7010,80	0,42	2935,39	0,000110	0,771188	-0,003	-23,697
Kalkputz	3,10	1150	3568,45	1,88	6708,69	0,000351	1,252526	0,160	570,952
total	105,92		32908,45		29939,93		15,014721		-17438,430
DA1/2	Volumen (m3)	Dichte (kg/m3)	Masse (kg)	PEI (MJ/kg)	PEI (MJ)	AP (kgSO2eq./kg)	AP (kgSO2eq.)	GWP (kgCO2eq./kg)	GWP (kgCO2eq.)
Dachziegel Ton	4,81	1800	8662,14	4,45	38546,12	0,000693	6,002863	0,258	6,003
Latten 3,5/3	0,54	500	270,00	2,77	747,23	0,001038	0,280260	-1,650	-445,430
Konterlatten 3,5/3,5	0,33	500	165,00	2,77	456,64	0,001038	0,171270	-1,650	-272,207
Holzfasserdämplatte	3,53	160	564,64	14,40	8128,35	0,004000	2,258560	-0,804	-454,085
Glasswolle zw.	10,37	25	259,33	46,25	11993,61	0,015317	3,972081	2,454	636,319
Holzkonstruktion 6,25/10	1,36	500	680,00	2,77	1881,92	0,001038	0,705840	-1,650	-1121,824
Glasswolle zw.	23,26	25	581,50	46,25	26893,79	0,015317	8,906836	2,454	1426,856
Holzkonstruktion 6,25/24	3,98	500	1990,00	2,77	5507,37	0,001038	2,065620	-1,650	-3282,985
Spannplatte V100	2,25	600	1347,00	12,28	16535,13	0,001884	2,537748	-1,259	-1695,895
Dampfbremse PE	0,02	980	19,60	84,67	1659,50	0,010251	0,200920	2,634	51,624
Glasswolle zw.	4,83	25	120,85	46,25	5589,23	0,015317	1,851059	2,454	296,536
Holzkonstruktion 6,25/6	0,66	500	330,00	2,77	913,28	0,001038	0,342540	-1,650	-544,415
Gipskartonplatte 2x	2,69	850	2286,50	4,83	11033,15	0,000740	1,692010	0,226	517,616
Summe	58,63		17276,56		129885,36		30,987607		-4881,887

DA 3	Volumen (m ³)	Dichte (kg/m ³)	Masse (kg)	PEI (MJ/kg)	PEI (MJ)	AP (kgSO ₂ eq./kg)	AP (kgSO ₂ eq.)	GWP (kgCO ₂ eq./kg)	GWP (kgCO ₂ eq.)
Dachziegel Ton	4,81	1800	8662,14	4,45	38546,12	0,000693	6,002863	0,258	6,003
Latten 3,5/3	0,54	500	270,00	2,77	747,23	0,001038	0,280260	-1,650	-445,430
Konterlatten 3,5/3,5	0,33	500	165,00	2,77	456,64	0,001038	0,171270	-1,650	-272,207
Holzfasserdämplatte	3,53	160	564,64	14,40	8128,35	0,004000	2,258560	-0,804	-454,085
Strohballen zw.	36,99	120	4438,44	0,80	3556,10	0,000852	3,781551	-1,246	-5529,293
Holzunterkonstruktion 4/38	2,47	500	1235,00	2,77	3417,89	0,001038	1,281930	-1,650	-2037,430
Holzbretter	1,81	500	904,50	2,77	2503,23	0,001038	0,938871	-1,650	-1492,191
Dampfbremse Öko	0,02	500	11,00	14,25	156,73	0,005893	0,064823	-0,953	-10,479
Stroh gepresst zw.	8,11	120	973,68	0,80	780,12	0,000852	0,829575	-1,246	-1212,985
Holzkonstruktion 6/10	0,93	500	465,00	2,77	1286,90	0,001038	0,482670	-1,650	-767,130
Holzbretter	2,15	500	1076,00	2,77	2977,86	0,001038	1,116888	-1,650	-1775,121
Schilf-Putzuntergrund	0,90	140	125,58	1,15	144,94	0,000391	0,049102	-1,589	-199,538
Lehmfeinputz	1,79	1700	3048,10	0,42	1276,23	0,000110	0,335291	-0,003	-10,303
Summe	64,39		21939,08		63978,33		17,593654		-14200,188

KD 1	Volumen (m ³)	Dichte (kg/m ³)	Masse (kg)	PEI (MJ/kg)	PEI (MJ)	AP (kgSO ₂ eq./kg)	AP (kgSO ₂ eq.)	GWP (kgCO ₂ eq./kg)	GWP (kgCO ₂ eq.)
Zementestrich	3,85	2000	7700,00	1,03	7921,42	0,000278	2,140600	0,120	925,863
Dampfbremse (PE)	0,02	980	14,70	84,67	1244,63	0,010251	0,150690	2,634	38,718
Polystyrol EPS Trittschalldämmplatte	2,31	15	34,65	98,90	3426,73	0,014900	0,516285	4,169	144,463
Polystyrol EPS 20	15,40	20	308,00	98,90	30459,82	0,014900	4,589200	4,169	1284,118
Stahlbetonplattenfundament	17,36	2400	41664,00	0,96	40095,85	0,000288	11,999232	0,139	5804,212
Summe	38,94		49721,35		83148,45		19,396007		8197,375

KD 2	Volumen (m3)	Dichte (kg/m3)	Masse (kg)	PEI (MJ/kg)	PEI (MJ)	AP (kgSO2eq./kg)	AP (kgSO2eq.)	GWP (kgCO2eq./kg)	GWP (kgCO2eq.)
Zementestrich	3,85	2000	7700,00	1,03	7921,42	0,000278	2,140600	0,120	925,863
Polyethylenbahn, - folie (PE)	0,02	980	14,70	84,67	1244,63	0,010251	0,150690	2,634	38,718
Glasswolle	2,31	70	161,70	46,25	7478,52	0,015317	2,476759	2,454	396,771
Spittschüttung	3,08	1600	4928,00	0,10	511,07	0,000048	0,236544	0,007	34,866
Dampfbremse PE	0,02	980	14,70	84,67	1244,63	0,010251	0,150690	2,634	38,718
OSB Platte	1,94	610	1182,18	8,56	10115,41	0,002096	2,477849	-1,151	-1361,196
Holzbalken 6,3/24 zw.	2,12	500	1058,00	2,77	2928,04	0,001038	1,098204	-1,650	-1745,426
Glasswolle	19,03	25	475,83	46,25	22006,60	0,015317	7,288212	2,454	1167,556
Holzbretter	2,11	500	1057,00	2,77	2925,27	0,001038	1,097166	-1,650	-1743,776
Gipskartonplatte	1,29	850	1099,90	4,83	5307,40	0,000740	0,813926	0,226	248,994
Summe	35,77		17692,01		61683,00		17,930639		-1998,912
KD 3	Volumen (m3)	Dichte (kg/m3)	Masse (kg)	PEI (MJ/kg)	PEI (MJ)	AP (kgSO2eq./kg)	AP (kgSO2eq.)	GWP (kgCO2eq./kg)	GWP (kgCO2eq.)
Holz Latten 4/4 zw	0,41	500	205,00	2,77	567,34	0,001038	0,212790	-1,650	-338,197
Spittschüttung	2,67	1600	4272,00	0,10	443,04	0,000048	0,205056	0,007	30,224
Schutzfolie Diffusionsoffen	0,02	980	17,64	84,67	1493,55	0,010251	0,180828	2,634	46,462
Schafwolle Trittschalldämmung	0,39	90	34,65	18,96	656,96	0,004146	0,143659	0,277	9,590
Dampfbremse Öko	0,02	500	9,00	14,25	128,23	0,005893	0,053037	-0,953	-8,574
Holz (Nut&Feder)	1,91	450	858,60	3,77	3236,67	0,001345	1,154817	-1,496	-1284,376
Holzbalken 6/38 zw.	4,32	500	2158,50	2,77	5973,70	0,001038	2,240523	-1,650	-3560,966
Strohballen	31,94	120	3832,20	0,80	3070,37	0,000852	3,265034	-1,246	-4774,055
Holzbretter	1,88	500	939,00	2,77	2598,71	0,001038	0,974682	-1,650	-1549,107
Schilf-Putzuntergrund	0,78	140	109,48	1,15	126,35	0,000391	0,042807	-1,589	-173,956
Lehmputz	1,57	1700	2660,50	0,42	1113,94	0,000110	0,292655	-0,003	-8,992
Summe	45,89		15096,57		19408,88		8,765888		-11611,948

GD 1	Volumen (m3)	Dichte (kg/m3)	Masse (kg)	PEI (MJ/kg)	PEI (MJ)	AP (kgSO2eq./kg)	AP (kgSO2eq.)	GWP (kgCO2eq./kg)	GWP (kgCO2eq.)
Zementestrich	3,85	2000	7700,00	1,03	7921,42	0,000278	2,140600	0,120	925,863
Polyethylenbahn, - folie (PE)	0,02	980	14,70	84,67	1244,63	0,010251	0,150690	2,634	38,718
Glasswolle	2,31	70	161,70	46,25	7478,52	0,015317	2,476759	2,454	396,771
Spittschüttung	1,54	1600	2464,00	0,10	255,54	0,000048	0,118272	0,007	17,433
Stahlbeton	13,02	2400	31255,20	0,96	30078,82	0,000288	9,001498	0,139	4354,162
Gipsspachtel	0,23	1300	300,30	3,07	921,13	0,000604	0,181381	0,157	47,172
Summe	20,97		41895,90		47900,05		14,069199		5780,120

GD 2	Volumen (m3)	Dichte (kg/m3)	Masse (kg)	PEI (MJ/kg)	PEI (MJ)	AP (kgSO2eq./kg)	AP (kgSO2eq.)	GWP (kgCO2eq./kg)	GWP (kgCO2eq.)
Zementestrich	3,85	2000	7700,00	1,03	7921,42	0,000278	2,140600	0,120	925,863
Polyethylenbahn, - folie (PE)	0,02	980	14,70	84,67	1244,63	0,010251	0,150690	2,634	38,718
Glasswolle	2,31	70	161,70	46,25	7478,52	0,015317	2,476759	2,454	396,771
Spittschüttung	3,85	1600	6160,00	0,10	638,84	0,000048	0,295680	0,007	43,582
Schutzfolie Diffusionsoffen	0,02	980	14,70	84,67	1244,63	0,010251	0,150690	2,634	38,718
OSB Platte	1,82	610	1110,20	8,56	9499,51	0,002096	2,326979	-1,151	-1278,316
Holzbalken 9/22 zw.	2,60	500	1300,00	2,77	3597,78	0,001038	1,349400	-1,650	-2144,663
Glasswolle 8cm	4,47	25	111,75	46,25	5168,37	0,015317	1,711675	2,454	274,207
OSB Platte	1,82	610	1110,20	8,56	9499,51	0,002096	2,326979	-1,151	-1278,316
Glasswolle zw.	3,20	25	79,90	46,25	3695,32	0,015317	1,223828	2,454	196,055
Schwingbügel 0,1/5									
Gipskartonplatte 2x	2,31	850	1963,50	4,83	9474,57	0,000740	1,452990	0,226	444,495
Summe	26,26		19726,65		59463,10		15,606270		-2342,887

GD 3	Volumen (m3)	Dichte (kg/m3)	Masse (kg)	PEI (MJ/kg)	PEI (MJ)	AP (kgSO2eq./kg)	AP (kgSO2eq.)	GWP (kgCO2eq./kg)	GWP (kgCO2eq.)
Holz Latten 4/4 zw	0,41	500	205,00	2,77	567,34	0,001038	0,212790	-1,650	-338,197
Splittschüttung	2,67	1600	4272,00	0,10	443,04	0,000048	0,205056	0,007	30,224
Holz Konterlatten 4/4 zw	0,41	500	205,00	2,77	567,34	0,001038	0,212790	-1,650	-338,197
Splittschüttung	2,67	1600	4272,00	0,10	443,04	0,000048	0,205056	0,007	30,224
Schutzfolie Diffusionsoffen	0,02	980	14,70	84,67	1244,63	0,010251	0,150690	2,634	38,718
Schafwolle Trittschalldämmung	0,39	90	34,65	18,96	656,96	0,004146	0,143659	0,277	9,590
Holz (Nut&Feder)	2,86	450	1287,90	3,77	4855,01	0,001345	1,732226	-1,496	-1926,564
Holzbalken 8/20 zw.	2,09	500	1046,50	2,77	2896,21	0,001038	1,086267	-1,650	-1726,454
Stroh gepresst	8,38	120	1006,08	0,80	806,08	0,000852	0,857180	-1,246	-1253,348
Holzbretter	1,68	500	838,50	2,77	2320,57	0,001038	0,870363	-1,650	-1383,308
Schilf -Putzuntergrund	0,77	140	107,80	85,99	9269,55	0,008322	0,897112	2,825	304,579
Lehmputz	1,54	1700	2618,00	0,42	1096,15	0,000110	0,287980	-0,003	-8,849
Summe	23,89		15908,13		25165,92		6,861168		-6561,582

71

EFO	Volumen (m3)	Dichte (kg/m3)	Masse (kg)	PEI (MJ/kg)	PEI (MJ)	AP (kgSO2eq./kg)	AP (kgSO2eq.)	GWP (kgCO2eq./kg)	GWP (kgCO2eq.)
Zementestrich	3,89	2000	7774,00	1,03	7997,55	0,000278	2,161172	0,120	934,761
Aluminium-Bitumenabdichtungsbahn	0,35	1100	381,70	51,20	19543,67	0,008689	3,316591	1,582	603,877
Stahlbeton-Plattenfundament	13,02	2400	31255,20	0,96	30078,82	0,000288	9,001498	0,139	4354,162
Baupapier	0,03	500	13,00	14,25	185,23	0,005893	0,076609	-0,953	-12,384
Sand, Kies	13,02	1800	23441,40	0,31	7223,26	0,000068	1,594015	0,022	507,037
Vlies PP	0,02	600	10,20	85,99	877,08	0,008322	0,084884	2,825	28,819
Summe	30,32		62875,50		65905,61		16,234770		6416,273

KW	Volumen (m3)	Dichte (kg/m3)	Masse (kg)	PEI (MJ/kg)	PEI (MJ)	AP (kgSO2eq./kg)	AP (kgSO2eq.)	GWP (kgCO2eq./kg)	GWP (kgCO2eq.)
Gipsspachtel	0,22	1300	291,20	3,07	893,21	0,000604	0,175885	0,157	45,743
Stahlbeton	19,24	2400	46166,40	0,96	44428,79	0,000288	13,295923	0,139	6431,441
Polymerbitumen-Dichtungsbahn	0,67	1100	737,00	41,60	30656,28	0,005564	4,100668	0,819	603,728
Bitumenanstrich	0,21	1050	216,30	55,42	11986,95	0,004411	0,954099	1,057	228,689
Polystyrol XPS	8,62	38	327,71	93,56	30662,22	0,015539	5,092317	4,205	1377,899
Drainplatte	0,79	20	15,70	70,06	1099,92	0,008673	0,136166	2,178	34,190
Summe	29,75		47754,31		119727,38		23,755058		8721,690

Andere Aufbauten	Volumen (m3)	Dichte (kg/m3)	Masse (kg)	PEI (MJ/kg)	PEI (MJ)	AP (kgSO2eq./kg)	AP (kgSO2eq.)	GWP (kgCO2eq./kg)	GWP (kgCO2eq.)
Stahlbetontreppe	19,24	2400	46166,40	0,96	44428,79	0,000288	13,295923	0,139	6431,441
Holztreppe	19,24	500	9618	2,77	26618,06	0,001038	9,983484	-1,650	-15867,209
Holzlagen Dach 16/16	0,67	500	335,00	2,77	927,12	0,001038	0,347730	-1,650	-552,663
Summe	39,14		56119,40		71973,97		23,627137		-9988,431